ORSAY
Série A
N° d'ordre
191

THESE

présentée

A L'UNIVERSITE DE PARIS - SUD

CENTRE D'ORSAY

pour obtenir

le titre de Docteur - Ingénieur

Sciences Physiques

par

Jean-Pierre KOUTCHOUK

SYSTEME DE COMPRESSION D'INFORMATIONS
ISSUES DE TELEMETRIE SPATIALE

Soutenue le 15 juin 1973, devant la Commission d'Examen

M. DEBRAINE Président

M. DONADIEU
Mle. BESTOUGEFF } Examinateurs
M. CAZENAVE

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41542715_0014

ORSAY
Série A
N° d'ordre
191

T H E S E

présentée

A L'UNIVERSITE DE PARIS - SUD

CENTRE D'ORSAY

pour obtenir

le titre de Docteur - Ingénieur

par

Jean-Pierre KOUTCHOUK

SYSTEME DE COMPRESSION D'INFORMATIONS

ISSUES DE TELEMETRIE SPATIALE

Soutenue le 15 Juin 1973, devant la Commission d'Examen

M. DEBRAINE	Président
M. DONADIEU Mle BESTOUGEFF M. CAZENAVE	Examinateurs

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Avant d'aborder la présentation, je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur Debraine, Professeur Associé à l'Université de Paris-sud et à l' I.N.S.T.N., Adjoint au Directeur du Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, qui a patronné et suivi ce travail.

Je remercie également Monsieur Donadieu, Professeur, Mademoiselle Bestougeff, Maître de Conférence et Monsieur Cazenave, Responsable du Bureau des projets du C.N.E.S., pour avoir bien voulu constituer le jury de thèse.

C'est par l'attribution d'une bourse du Centre National d'Etudes Spatiales et grâce aux moyens mis à ma disposition par Monsieur Gohé, chef du département "Traitement des Télémesures", que ce travail a pu être mené à bien.

Je remercie également tous mes collègues ingénieurs et techniciens pour l'aide qu'ils ont pu m'apporter et pour l'ambiance sympathique du service ; en particulier Messieurs Terrisson, Eygret, Coudreau, Despringre, Mahé, David-Vaudey, Melkonian, Chauvin, Besch, Basset, Ferreol, Azéma et Douarre. Mes remerciements s'adressent également à Madame Montreuil, qui a mis en pages et dactylographié cette thèse, et à Mademoiselle Harscoët, qui a tapé nombre de notices.

Ce travail a été réalisé dans les laboratoires du

Département "Traitement des Télémesures"

Division "Mathématiques"

du CENTRE SPATIAL de Brétigny.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION

1.1 - EVOLUTION GENERALE DES TRANSMISSIONS 1
1.2 - ORIGINE DES REDONDANCES DANS LES SIGNAUX 1
1.3 - LA REDUCTION DE REDONDANCES, OU COMPRESSION 2
1.4 - CONTEXTE 3
1.5 - BUT ET PRESENTATION DE L'ETUDE 4

CHAPITRE 2 - DESCRIPTION DES METHODES DE COMPRESSION

2.1 - TRANSMISSION DES TELEMESURES 7

2.2 - METHODES DE COMPRESSION 10
2.21 - Traitements analogiques
2.22 - Echantillonnage optimisé
2.23 - Quantification et codage optimisés
2.24 - Traitements numériques

2.3 - COMPRESSION PAR ALGORITHMES POLYNOMIAUX 16
2.31 - Les prédicteurs linéaires
2.32 - Les interpolateurs linéaires

2.4 - CHOIX DES ALGORITHMES 26

2.5 - CRITERES D'EFFICACITE ET DE FIDELITE 26
2.51 - Taux de compression
2.52 - Principe du calcul
2.53 - Erreur de restitution

CHAPITRE 3 - APPROCHE THEORIQUE

3.1 - EVALUATION DU TAUX DE COMPRESSION 31
3.11 - Position du problème
3.12 - Signal équiréparti sans mémoire
3.13 - Signal gaussien sans mémoire
3.14 - Signaux markoviens
3.15 - Analyse des résultats

3.2 - LA RESTITUTION 61
3.21 - Les méthodes de restitution
3.22 - Calcul de l'erreur de restitution

3.3 - CONCLUSION PARTIELLE 64

CHAPITRE 4 - REALISATION DU SYSTEME D'ACQUISITION

4.1 - PRINCIPES GENERAUX 65
4.11 - Organisation du Centre de Traitement des Télémesures
4.12 - La compression de données

4.2 - LE CONTEXTE 66
4.21 - Les équipements électroniques d'acquisition
4.22 - L'ordinateur d'acquisition
4.23 - Fonctionnement de la chaîne

4.3 - CONCEPTION DU SYSTEME 79
4.31 - Etude des moyens à mettre en oeuvre
4.32 - L'ordinateur IBM7
4.33 - Architecture et fonctionnement général

4.4 - L'ELECTRONIQUE 85
4.41 - Configuration générale de la chaîne
4.42 - Configuration de l'IBM7
4.43 - Ressources de l'IBM 1800 utilisées par l'IBM7
4.44 - Le coupleur MI7/MI8

4.5 - ORGANISATION GENERALE DES PROGRAMMES 96

4.6 - LES PROGRAMMES SYSTEME 97
4.61 - Organisation des programmes
4.62 - Le moniteur IBM7
4.63 - Le moniteur de liaison sur IBM 1800
4.64 - Fonctionnement du système
4.65 - Soutien des unités 2260 à clavier et écran

4.7 - LES PROGRAMMES D'ACQUISITION 116
4.71 - Principe de l'acquisition
4.72 - Organisation des programmes
4.73 - Préparation standard
4.74 - Préparation de la compression
4.75 - Initialisation de la compression
4.76 - Programmes d'acquisition sur IBM 1800
4.77 - Programmes de compression sur IBM7

CHAPITRE 5 - FONCTIONNEMENTS ET RESULTATS

5.1 - TEST DU SYSTEME 161
5.11 - Méthode de test
5.12 - Résultats

5.2 - PERFORMANCES 163
5.21 - Programme de rangement sur bande magnétique
5.22 - Programmes d'acquisition

5.3 - ANALYSE D'UN EXEMPLE REEL 171

5.4 - PROJET RESSOURCES TERRESTRES 174

CHAPITRE 6 - CONCLUSION

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 - EVOLUTION GENERALE DES TRANSMISSIONS

La période présente est marquée par une augmentation continue des besoins en transmissions d'informations : aux télécommunications par câbles, voies hertziennes et satellites, à la télévision et à la radio, viennent s'ajouter des utilisations nouvelles : communication entre ordinateurs de systèmes informatiques décentralisés et interrogation d'ordinateurs à distance, transmission de données météorologiques pour le trafic aérien, l'agriculture, généralisation de l'utilisation des satellites.

Parallèlement, les techniques de transmission numérique supplantent de plus en plus les techniques analogiques, essentiellement pour leur immunité aux bruits et parasites, pour leur multiplexage simple (temporel), et pour la facilité avec laquelle un traitement ultérieur par calculateur est applicable.

L'information, généralement analogique au départ, est échantillonnée, puis quantifiée. Les problèmes théoriques du choix de la fréquence d'échantillonnage et du code ont été résolus par SHANNON.

1.2 - ORIGINE DES REDONDANCES DANS LES SIGNAUX

Dans la pratique, l'application des théories de l'échantillonnage et du codage n'est pas aisée, particulièrement dans le domaine des télécommunications spatiales. En effet, trois obstacles majeurs s'opposent à leur application :

- le peu de connaissance à priori de la statistique des signaux
- la non-stationnarité fréquente
- la recherche d'équipements simples pour des raisons de fiabilité et de consommation.

La cadence d'échantillonnage est généralement choisie bien supérieure au double de la fréquence maximale supposée ; quant au code, il est la plupart du temps linéaire à longueur fixe : les états pris par le signal quantifié sont caractérisés par leurs numéros d'ordre dans l'alphabet du code.

Il est aisé de concevoir que le taux d'informations inutiles ou redondantes dues au suréchantillonnage et au codage suboptimal est important et qu'il contribue à charger inutilement les canaux de transmission, les ordinateurs de traitement et les moyens de stockage.

De plus, dans le cas des satellites, un inconvénient grave est la diminution de puissance efficace de l'émetteur, conséquence du faible débit informationnel dû aux redondances ; les possibilités de l'engin s'en trouvent directement affectées.

L'augmentation du trafic a amplifié le problème, ce qui a conduit à rechercher des méthodes plus efficaces de transmission.

1.3 - LA REDUCTION DES REDONDANCES, OU COMPRESSION

De très nombreuses solutions sont envisageables. Leur étude est l'objet de la compression de données, encore appelée réduction de redondances.

Dans leur principe, les diverses méthodes sont identiques ; il s'agit de rendre l'information plus compacte :

- soit en supprimant des informations jugées redondantes par un algorithme de décision et en datant les informations restantes
- soit en groupant les informations en séquences typiques par des algorithmes de reconnaissance de forme ou de modèle ; dans ce cas, seul un code spécial correspondant à la séquence sera transmis.
- soit en effectuant des transformations réversibles ou non sur le signal ; le résultat de la transformation peut être utilisable directement par le récepteur ou doit être inversé pour être exploitable.

De l'utilisation d'une ou plusieurs méthodes simultanément, on peut attendre :

- une économie de puissance à l'émission
- une économie de transmission (réduction des capacités des canaux)
- une économie de supports de stockage
- une économie de temps de traitement sur ordinateur.

En contrepartie, la compression impose un certain nombre de contraintes qui seront dégagées au cours de l'exposé.

1.4 - CONTEXTE

Depuis une dizaine d'années, l'attention de nombreux chercheurs a été attirée par ce problème, en particulier aux Etats-Unis. Lee D. DAVIDSON, professeur à l'Université de Princeton, s'est attaché à résoudre le problème fondamental de la prédiction de signaux de statistique non connue. Il a montré l'intérêt des algorithmes s'adaptant automatiquement à la statistique du signal ; l'introduction de la tolérance s'est révélée être un obstacle majeur pour la théorie de la prédiction, du fait de la non-linéarité. (1) à (5)

L. HERMAN (6), Université du Massachussetts, a fait une analyse rigoureuse de l'action des prédicteurs et interpolateurs ; dans le cas d'un signal markovien, le calcul numérique montre que les interpolateurs ont une efficacité comparable à un échantillonnage optimal, alors que le prédicteur a une qualité moindre.

De nombreux autres auteurs, (7) à (12), ont effectué des simulations pour le compte de la N.A.S.A. sur des signaux réels issus de vols spaciaux ; les taux de compression obtenus varient entre 4 et 40. Certaines études ont débouché sur la réalisation d'équipements expérimentaux.

Enfin, KHODAREV, EVDOKIMOV et POKRAS (13) se sont penchés sur le problème de l'efficacité d'un système de compression appliqué à l'ensemble des sources d'une sonde lointaine.

1.5 - BUT ET PRESENTATION DE L'ETUDE

Le problème pratique posé par l'augmentation des cadences et de la quantité d'informations traitée a conduit le CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES à envisager l'utilisation de la compression de données.

La présente thèse a un triple but :

- par un travail de synthèse, dégager les algorithmes de compression applicables aux télémesures spatiales ;
- améliorer la connaissance de la compression par une analyse théorique ;
- réaliser un dispositif souple permettant l'application en temps réel d'algorithmes à des télémesures,;ceci aux cadences les plus élevées, en tenant compte des contraintes imposées par la multiprogrammation des ordinateurs d'acquisition et par l'électronique de décodage.

L'étude se compose des six chapîtres suivants :

CHAPITRE 1 : Introduction

CHAPITRE 2 : Après une présentation des diverses méthodes de compression, les méthodes applicables aux télémesures sont décrites en détail ; des critères d'efficacité et de qualité sont définis, afin de pouvoir quantifier l'action des algorithmes sur les signaux : taux de compression et erreur quadratique moyenne de restitution.

CHAPITRE 3 : Les deux critères précédemment définis sont évalués pour les prédicteurs et interpolateurs d'ordre zéro ; l'influence de la tendance centrale et de la mémoire du processus est mise en évidence. L'utilisation de modèles tels que bruits équirépartis et gaussiens non corrélés, chaînes de Markov, conduit à des résultats de forme simple.

CHAPITRE 4 : Le dispositif de compression de données utilisant deux ordinateurs interconnectés est décrit en détail, aussi bien du point de vue système (échanges entre ordinateurs, moniteurs) que du point de vue application (structure des programmes, répartition des tâches, possibilités).

CHAPITRE 5 : Une synthèse sur le fonctionnement et les performances du système est présentée ; la première application est analysée.

CHAPITRE 6 : Conclusion.

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DES METHODES DE COMPRESSION

2.1 - TRANSMISSION DES TELEMESURES

La transmission des télémesures entre satellites et stations peut être de type analogique ou numérique. Dans les deux cas les sources sont multiplexées car elles sont plus nombreuses que les émetteurs.

Les méthodes de transmission peuvent être classées en trois grandes catégories :

- Télémesures analogiques multiplexées dans le temps ;
- Télémesures analogiques multiplexées en fréquence ;
- Télémesures numériques multiplexées dans le temps.

Dans la première catégorie entrent la PAM (Pulse Amplitude Modulation), la PDM (Pulse Duration Modulation) et la PFM (Pulse Frequency Modulation), toutes trois caractérisées par un échantillonnage rendu obligatoire par le multiplexage temporel.

La FM (Frequency Modulation) appartient à la deuxième catégorie ; les signaux ne sont pas échantillonnés.

A la réception, les télémesures de la première catégorie sont synchronisées, décodées, ou quantifiées ; les télémesures FM sont simplement démultiplexées et quantifiées. A partir de cet instant, elles sont traitées de la même façon que les télémesures numériques.

La PCM (Pulse Code Modulation) est une modulation par codage d'impulsions.

Les sources sont échantillonnées, quantifiées, puis multiplexées dans le temps, afin de former un train de digits binaires envoyés vers l'émetteur (Fig. 1).

Pour que le décodage soit possible, on ajoute des signaux de synchronisation de configuration connue. Le mélange des signaux dans un codeur PCM peut être représenté symboliquement par un commutateur rotatif dont les différents plots sont explorés successivement (Fig. 2). La période de rotation du décommutateur caractérise le cycle, ou ligne.

Au début de chaque cycle, un code de synchronisation (S) est envoyé ; les sources peuvent être échantillonnées une fois par cycle (commutation normale), plusieurs fois (surcommutation) ou moins d'une fois (sous-commutation) ; dans ce dernier cas, le cycle n'est pas la période de la télémesure ; on introduit alors une synchronisation de sous-cycle ou de format ($\bar{S}$) transmise après apparition de toutes les sources sous-commutées. ; Un mot d'identification peut également être utilisé : il apparait à chaque cycle et donne son numéro à l'intérieur du sous-cycle. Une télémesure PCM peut être représentée de façon commode par son format (Fig. 3).

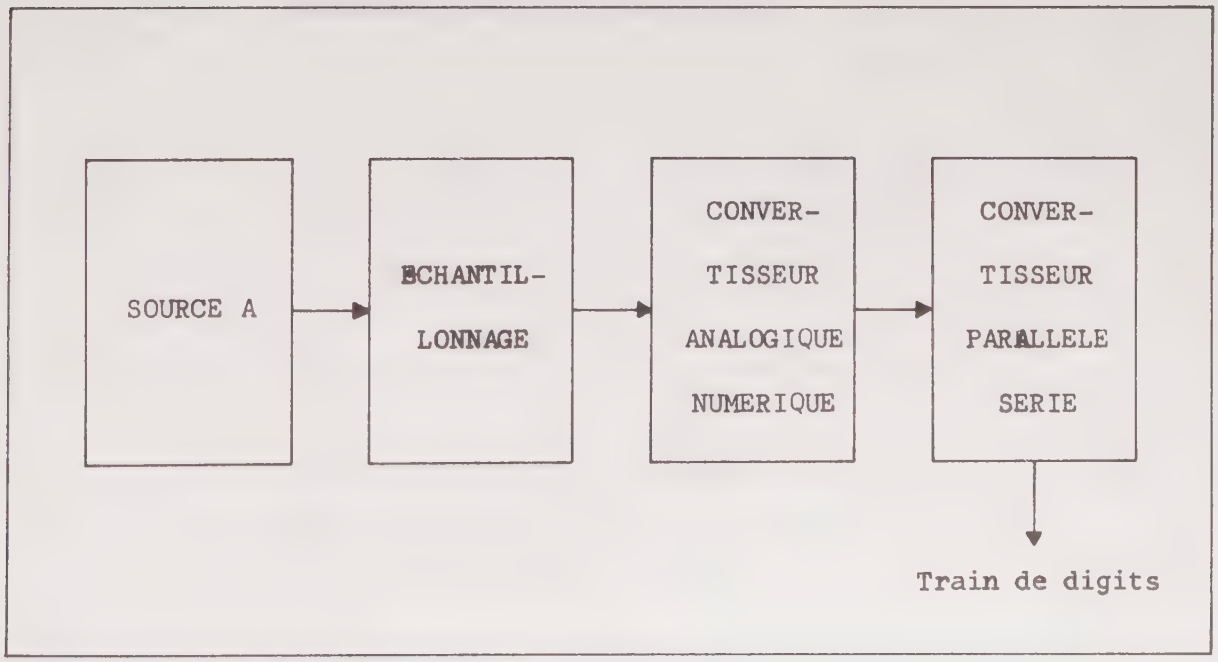


Figure 1 - TRANSMISSION PCM

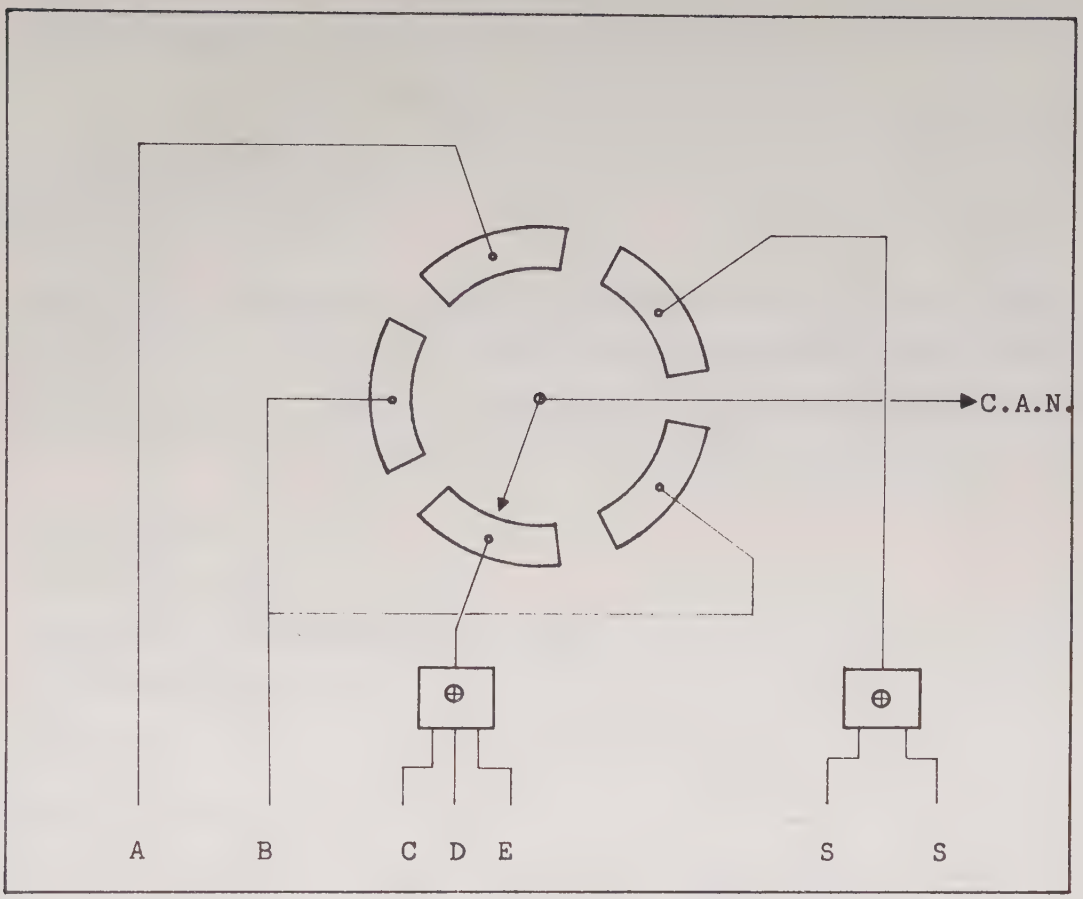


Figure 2 - MULTIPLEXAGE TEMPOREL

$\bar{S}$	A	B	C	B
S	A	B	D	B
S	A	B	E	B

$\bar{S}$: Synchro de format A : commuté

S : Synchro de ligne B : sur-commuté

C, D, E : sous-commutés

Figure 3 - FORMAT PCM

Cet exposé rapide de la PCM montre que le commutateur doit pouvoir passer les hautes fréquences du signal le plus actif ; malgré les possibilités offertes par la sur et la sous-commutation, ce système introduit un sur-échantillonnage important dans beaucoup de cas.

2.2 - METHODES DE COMPRESSION

Le but de la compression étant une diminution du débit de la source, ou de sa largeur de bande, un très grand nombre de méthodes sont susceptibles d'être appliquées. Elles peuvent être classées en cinq grandes catégories suivant leur localisation dans la chaîne d'émission (Fig. 4) :

- Traitement analogique
- Echantillonnage optimisé
- Quantification et codage optimisés
- Traitement numérique
- Contrôle

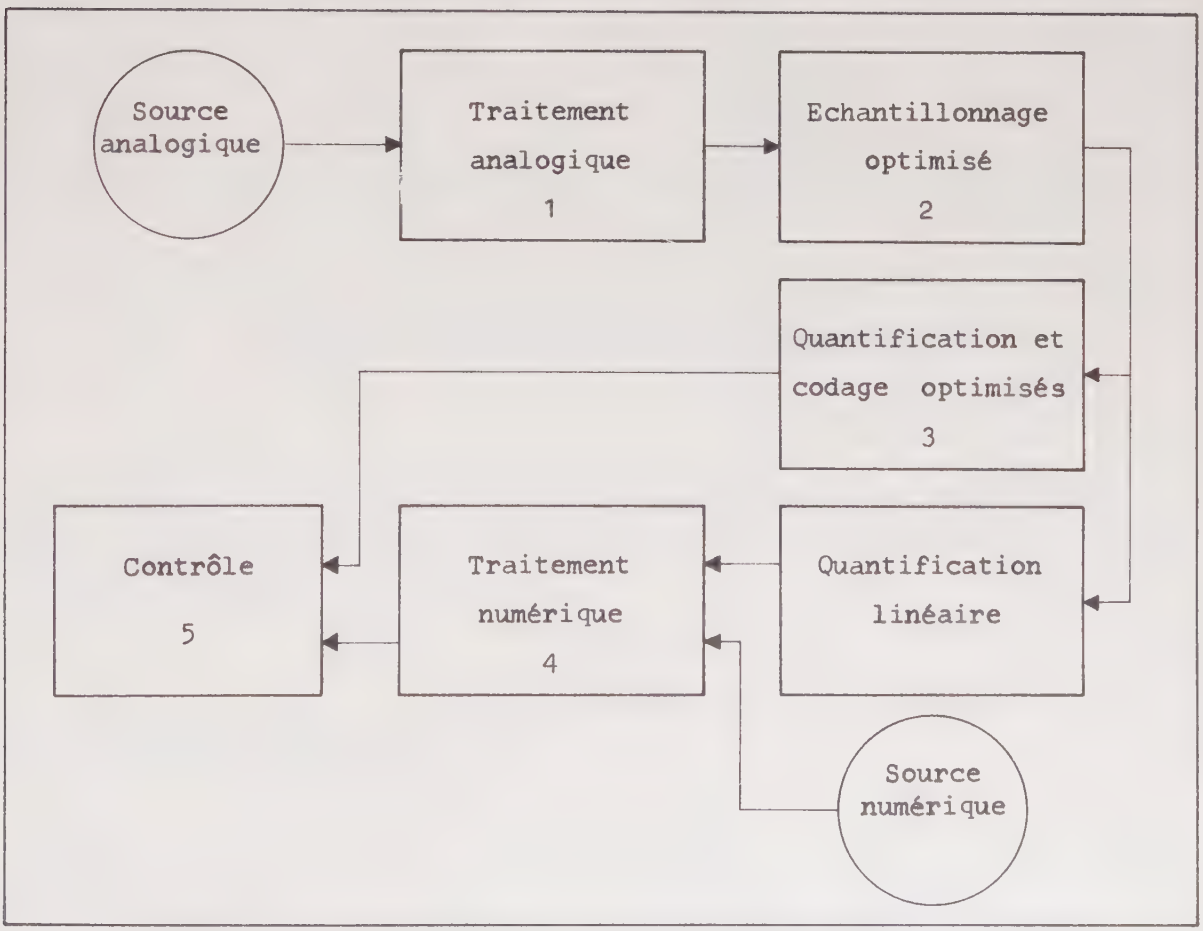


Figure 4 - EMPLACEMENTS POSSIBLES D'ELEMENTS DE COMPRESSION

2.21 - TRAITEMENTS ANALOGIQUES

Le traitement le plus couramment appliqué à une source analogique est un préfiltrage : il permet de limiter le spectre de la source afin de ne transmettre que des fréquences intéressantes ; la fréquence de coupure haute étant bien définie, le choix de la cadence d'échantillonnage est facilité.

Un autre traitement peut être envisagé, particulièrement pour les signaux vocaux : par excitation d'un monocristal ferrimagnétique, il est possible d'activer des oscillations de pompage d'une fréquence moitié de la fréquence du signal excitateur (14) ; dans un signal complexe, les fréquences de puissance supérieure à un seuil P_o sont divisées par deux, et les autres supprimées (Figure 5).

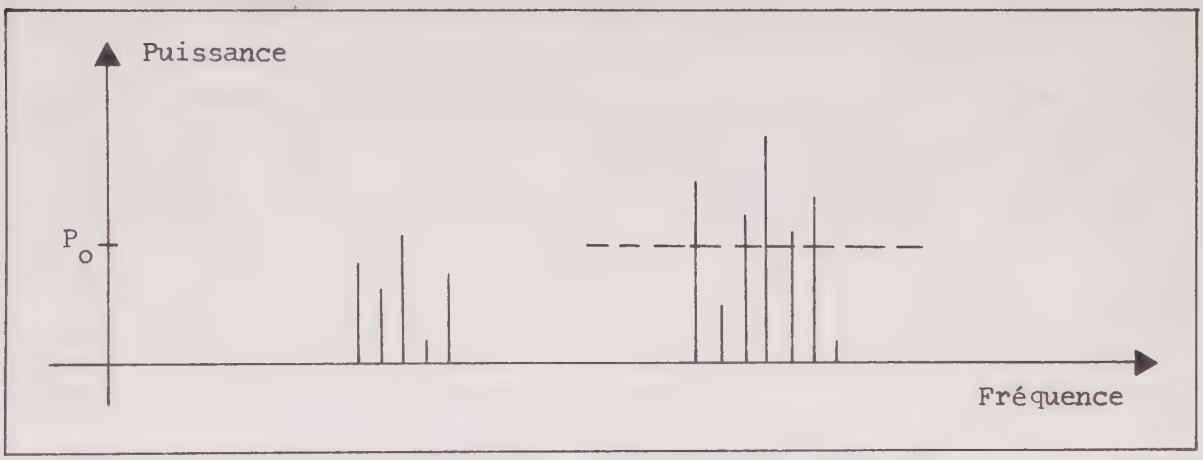


Figure 5 - GENERATION DE SOUS-HARMONIQUES

Le phénomène est réversible, mais le peu de linéarité du pompage magnétoélastique est un obstacle à l'utilisation de ce procédé dans les transmissions de signaux scientifiques.

2.22 - ECHANTILLONNAGE OPTIMISE

Le spectre instantané de la plupart des signaux réels n'est pas stationnaire ; l'échantillonnage optimisé permet de se rapprocher à chaque instant de la cadence théorique de SHANNON. Mais la réalisation d'un tel dispositif est

très complexe : chaque signal analogique est aiguillé vers le convertisseur analogique digital par un organe de décision tenant compte à la fois

- de l'activité du signal
- de l'occupation du convertisseur, dont la cadence de sortie doit rester constante.

Des réalisations partielles ont vu le jour :

- Echantillonnage à partir d'un ou deux seuils (détection des contours d'une image, détection des maxima et minima de signaux vocaux) ;
- Choix de deux cadences d'échantillonnage (lente ou rapide) avec commutation automatique ou non (télévision à basse définition (15)).

2.23 - QUANTIFICATION ET CODAGE OPTIMISE

L'échantillonnage optimisé étant trop complexe en général, il semble plus simple d'avoir une action directe sur la quantification et le codage. De très nombreuses méthodes sont possibles, dont certaines ont déjà été appliquées :

2.231 - MODULATION DELTA

La modulation delta est un système différentiel (Fig. 6).

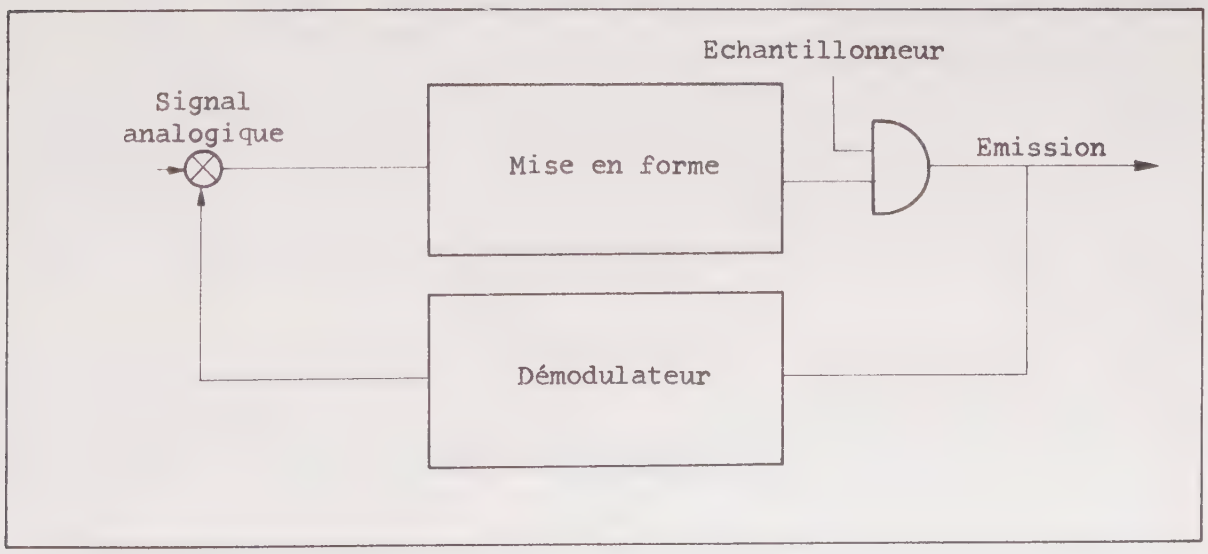


Figure 6 - MODULATION DELTA

Le signal analogique est comparé au signal reconstruit par l'intermédiaire du démodulateur - un intégrateur, dans le cas le plus simple -; le signe de la différence est traduit en binaire (0 ou 1) et transmis vers l'émetteur à chaque impulsion de l'échantillonneur. Dans sa version la plus simple, ce système ne peut pas accepter de grandes dynamiques ; cette difficulté peut être surmontée si l'on introduit des éléments non linéaires dans la boucle de contre-réaction (16).

2.232 - CODAGE LOGARITHMIQUE

L'expression logarithmique d'un nombre est plus compacte que son expression entière ; cette propriété peut être utilisée dans la quantification ou le codage logarithmique . Dans le premier cas, le signal analogique est quantifié suivant une échelle logarithmique. Dans le second cas, la quantification est linéaire, mais le résultat est présenté en format virgule flottante

$$N = m.2^{c}$$

Ce procédé simple est d'autant plus efficace que le nombre de bits est grand (12,17).

2.233 - CODAGE A LONGUEUR VARIABLE

D'après la théorie de l'information, les codes à longueur variable (SHANNON - FANNO, HUFFMAN) donnent des résultats presque optimaux ; la longueur du code correspondant à une information est inversement proportionnelle à sa probabilité ; ce codage suppose que la source soit stationnaire et que sa statistique soit connue. Le décodage relativement complexe semble exclure ce procédé pour les télécommunications spatiales ; par contre, il s'est avéré intéressant pour la compression de fichiers de gestion (18).

2.234 - GROUPAGES

Parmi toutes les possibilités, nous donnerons trois exemples :

- le groupage de points successifs ayant la même valeur ; on ne transmet alors que la longueur du segment et la valeur (longueur de suites) (19).

- le groupage de bits ayant la même valeur dans plusieurs configurations binaires consécutives (plan de bits) (12).
- le groupage de points d'une image en aires élémentaires avec calcul de la moyenne.

2.235 - PCM DIFFERENTIELLE

L'analyse des propriétés statistiques des images montre que ce sont des sources assez stationnaires et ayant des propriétés markoviennes : si l'on établit la matrice des transmissions, on voit que le saut nul est le plus probable et que les sauts de grandes amplitudes sont très improbables ; un codage différentiel avec groupage des sauts semble particulièrement bien adapté : en rassemblant dans quelques groupes les sauts peu probables, on aboutit à un codage efficace et une faible distorsion (20).

2.24 - TRAITEMENTS NUMERIQUES

2.241 - L'EXTRACTION DE PARAMETRES

Les informations issues d'une source peuvent être traitées avant l'émission ; seuls les résultats du traitement sont transmis vers le sol ; l'économie est en général très importante ; par contre, le signal ne peut être reconstruit à la réception. Dans cette catégorie entrent les analyseurs de spectre, les détecteurs d'événements, les moyennes (21), histogrammes, etc...

2.242 - LES TRANSFORMATIONS

Le principe de la méthode est de décomposer le signal à comprimer sur une base formée de fonctions orthogonales ; la base est d'autant mieux adaptée que le nombre de fonctions à utiliser est plus petit pour une erreur quadratique moyenne donnée.

Dans le filtrage optimal de KARHUNEN - LOEVE, la base est formée des vecteurs propres de la matrice d'autocorrélation ; on démontre que cette base est optimale au sens où nous l'avons défini précédemment. L'erreur quadratique moyenne, si l'on se limite à un développement à n termes est donnée par :

$$\varepsilon^2 = \sum_{j=n+1}^{N} \lambda_j$$

λ_j Valeur propre de la matrice d'autocorrélation

N Dimension de la base

Cette transformation a un intérêt théorique certain (22) ; par contre elle est inapplicable dans le cas général :

- la matrice d'autocorrélation est rarement connue ;
- les calculs ont une durée prohibitive.

Le filtrage de FOURIER est bâti sur le même principe : le signal est décomposé sur une base sinus / cosinus et les n premiers coefficients sont envoyés vers le récepteur ; cette transformation peut être généralisée pour le traitement des images ; malgré les algorithmes de transformée rapide, elle demeure très lourde.

L'évolution de la recherche dans ce domaine est de trouver des fonctions orthogonales conduisant à des calculs simples et rapides (élimination des multiplications et divisions).

2.243 - ESTIMATION DIRECTE

Le traitement numérique qui semble le mieux adapté aux télémesures est l'estimation directe : à chaque pas de l'horloge d'échantillonnage, le signal quantifié traverse un organe de décision qui évalue son contenu informationnel (Fig. 7).

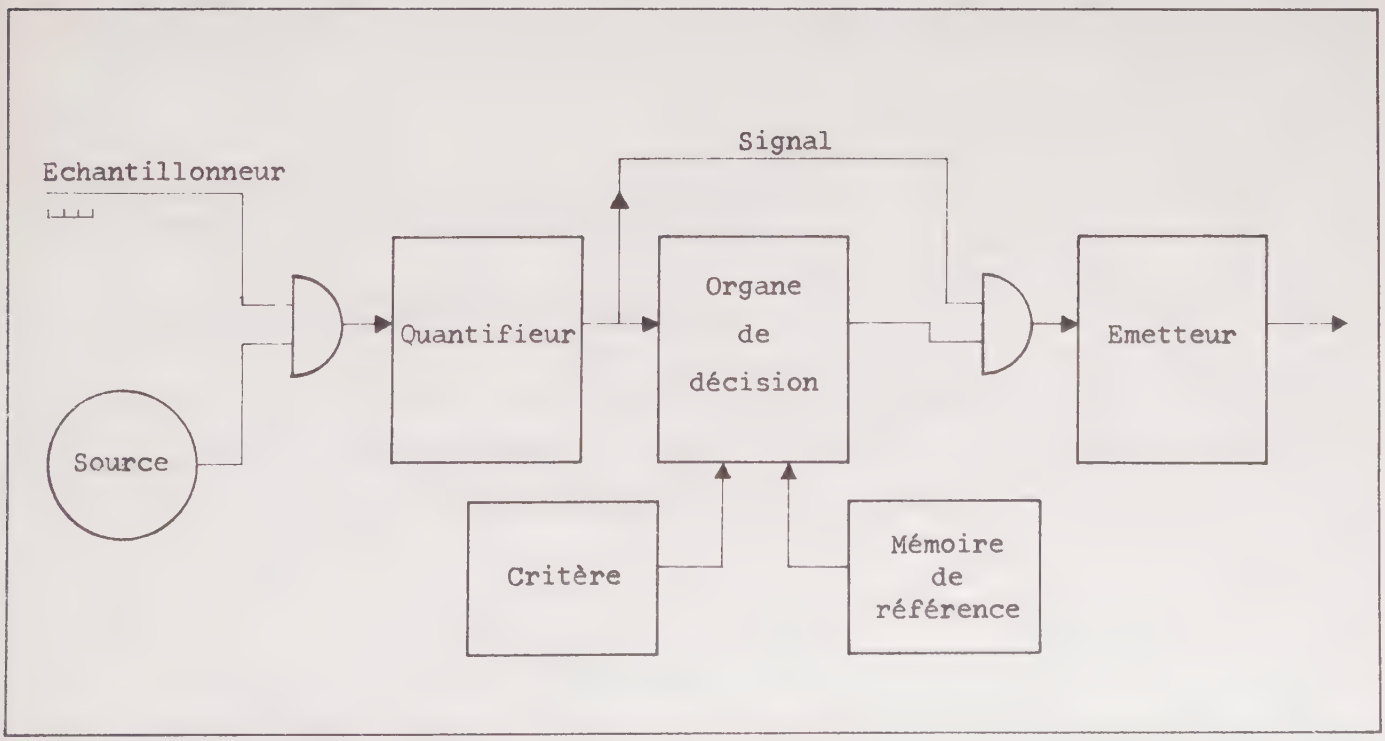


Figure 7 - COMPRESSION PAR TEST DU CONTENU INFORMATIONNEL

S'il est suffisant, le signal est transmis vers l'émetteur avec une information supplémentaire permettant la datation ; sinon, il n'est pas transmis.

L'organe de décision construit une estimation à l'aide d'algorithmes polynomiaux, exponentiels, ou sinus / cosinus ; si le point estimé et le point réel diffèrent d'une valeur jugée trop grande, le point réel est transmis. Les algorithmes peuvent être de type causal (prédicteurs) ou non causal (interpolateurs). Ils ont en commun la propriété fondamentale de ne provoquer à la restitution qu'une erreur maximale bornée.

Par sa simplicité de réalisation et sa généralité, l'estimation polynomiale semble être une des méthodes les plus intéressantes ; c'est elle que nous allons développer dans cette thèse.

2.244 - CONTROLE

La plupart des techniques de compression ont la propriété commune de provoquer des variations dans la cadence de sortie ; or, l'émetteur a une cadence fixe. L'adaptation peut être faite par un tampon entre compresseur et émetteur. Un organe de contrôle peut superviser l'ensemble, et, en particulier, le remplissage du tampon ; dans cet esprit, une priorité peut être associée à chaque source ; en cas de grande activité, seules les sources de haute priorité sont transmises, évitant ainsi un débordement du tampon ; dans ces conditions, les bits redondants des signaux les plus prioritaires peuvent être remplacés par des signaux moins prioritaires (23).

2.3 - COMPRESSION PAR ALGORITHMES POLYNOMIAUX

2.31 - LES PREDICTEURS LINEAIRES

Soit une suite de valeurs discrètes $\{x\}$ représentant l'évolution d'un paramètres avec le temps. Au temps i, le prédicteur linéaire d'ordre m construit une valeur estimée de x_i :

$$\hat{x}_i = \sum_{j=i-n-1}^{i-1} \alpha_j x_j \qquad (2.1)$$

Si Δ est l'imprécision tolérée,

$|x_i - \hat{x}_i| \leqslant \Delta$ caractérise une redondance

$|x_i - \hat{x}_i| > \Delta$ caractérise une information à transmettre.

Dans le cas d'une redondance, le point x_i est remplacé par l'estimation $\hat{x}_i$; la formule (2.1) n'est donc valable que lorsque $\Delta=0$; dans les autres cas, elle doit être corrigée :

$$\hat{x}_i = \sum_{j=i-n-1}^{i-1} \beta_j y_j \qquad (2.2)$$

les y_j étant soit des valeurs réelles, soit des valeurs estimées. Les β_j de la formule (2.2) ne sont plus les coefficients α_j calculables par application de la théorie de la prédiction.

La non-linéarité introduite par le paramètre rend l'analyse du problème ardue et peu fructueuse malgré les résultats partiels obtenus par DAVISSON (1), (2), (3) ; dans le chapître 3, nous nous orientons vers un traitement statistique afin d'obtenir des résultats interprétables.

Dans la pratique, l'ordre des prédicteurs est choisi égal à 0 ou à 1, les ordres supérieurs n'étant pas intéressants pour les raisons suivantes :

- sensibilité accrue au caractère non déterministe du signal (bruit) ;
- temps de calcul plus élevé ;
- complexité de réalisation plus grande.

2.311 - PREDICTEUR D'ORDRE ZERO A REFERENCE

C'est le plus simple des algorithmes d'ordre 0 (Fig. 8). La référence y_o étant fixée, tout échantillon x_i, tel que

$$| x_i - y_o | \leqslant \Delta$$

est supprimé ; Δ est l'imprécision tolérée, ou tolérance. Cet algorithme peut être utilisé pour soustraire un fond continu ou supprimer une ligne de référence.

2.312 - PREDICTEUR D'ORDRE ZERO A OUVERTURE FLOTTANTE

Le mécanisme de ce prédicteur est schématisé sur la figure 9 et caractérisé par les relations :

$$\hat{x}_i = z_{i-1} \qquad \text{avec} \quad z_{i-1} = x_{i-1} \quad \text{ou} \quad \hat{x}_{i-1}$$

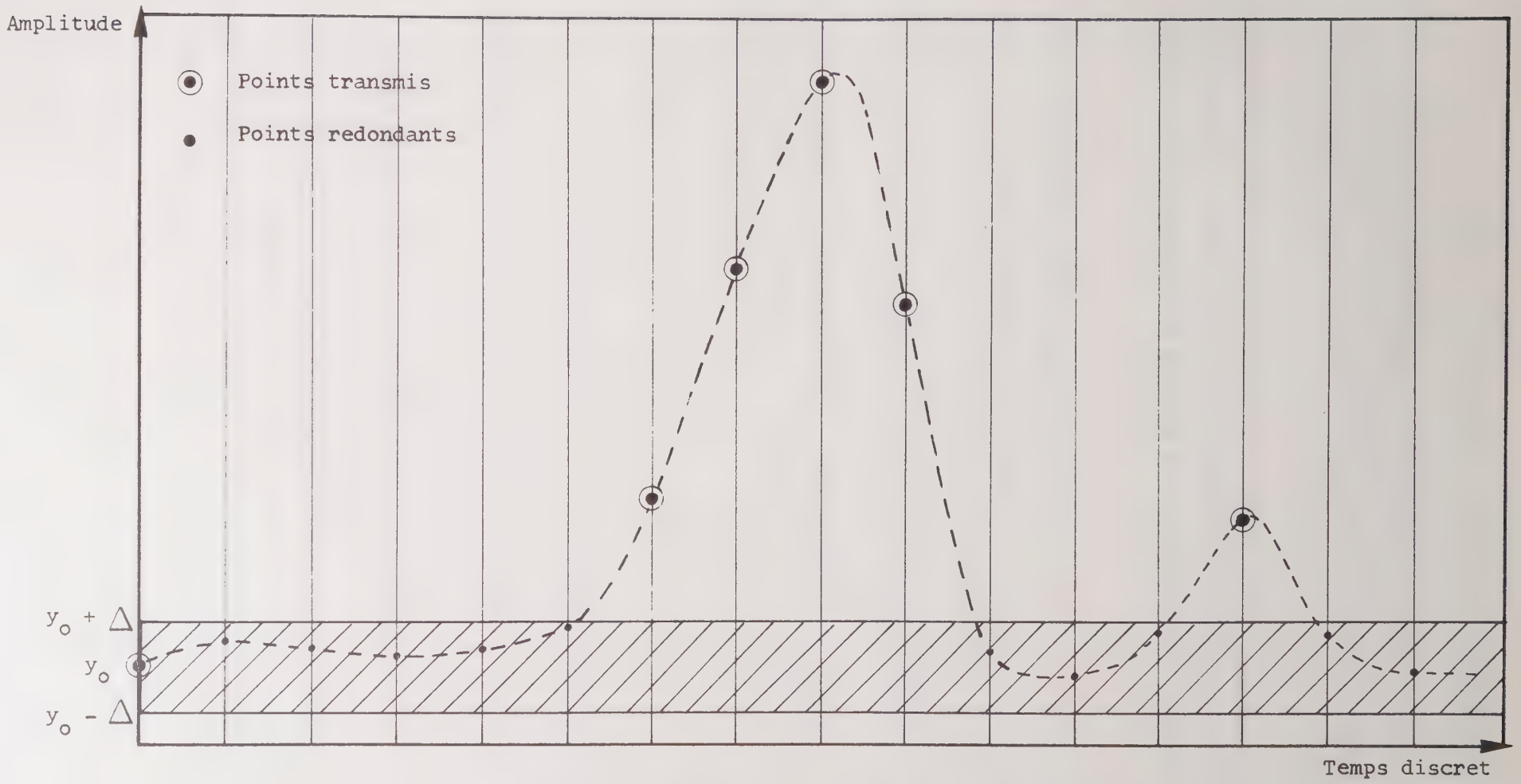


Figure 8 - PREDICTEUR D'ORDRE ZERO A REFERENCE

$$\left| \hat{x}_i - x_i \right| \leq \Delta \qquad \text{Redondance}$$

$$\left| \hat{x}_i - x_i \right| > \Delta \qquad \text{Transmission}$$

A chaque pas de l'horloge d'échantillonnage, le point arrivant est comparé au point précédent ; si la différence n'est pas significative, le point est supprimé.

Le prédicteur est dit à ouverture flottante car la zone de tolérance suit l'évolution du signal ; on a ainsi réalisé le plus simple des algorithmes de réduction de redondances asservi à la statistique du signal.

2.313 - PREDICTEUR D'ORDRE ZERO A DECALAGE

L'idée qui a amené à concevoir ce prédicteur est que l'algorithme précédent ne tient pas compte d'une évolution au premier ordre du signal (signal à pente quasi constante) ; les prédicteurs d'ordre un (§ 2.314) sont bien adaptés à ce type de signal, mais sont plus coûteux en temps de calcul.

Dans les prédicteurs d'ordre zéro, une manière de tenir compte de la tendance générale des données est de corriger la prédiction par un terme constant ε (Fig. 10).

Dans ce cas :

$$\hat{x}_i = z_{i-1} \pm \varepsilon \qquad z_{i-1} = x_{i-1} \text{ ou } \hat{x}_{i-1}$$

Le signe est celui de la dérivée donnée par $(z_{i-1} - z_{i-2})$.

Si le décalage ε est bien choisi, cet algorithme peut être très efficace ; par contre, il a le même inconvénient que le modulateur delta (§ 2.231) : à chaque pas d'échantillonnage, la dynamique doit rester inférieure à $(\varepsilon \pm \Delta)$ sinon il n'y a pas compression. Par analogie avec la modulation delta à pente asservie, le décalage peut être adapté de façon non linéaire à la dynamique, par exemple en doublant le décalage pour quatre redondances successives. Le prédicteur suit ainsi mieux les fluctuations du signal.

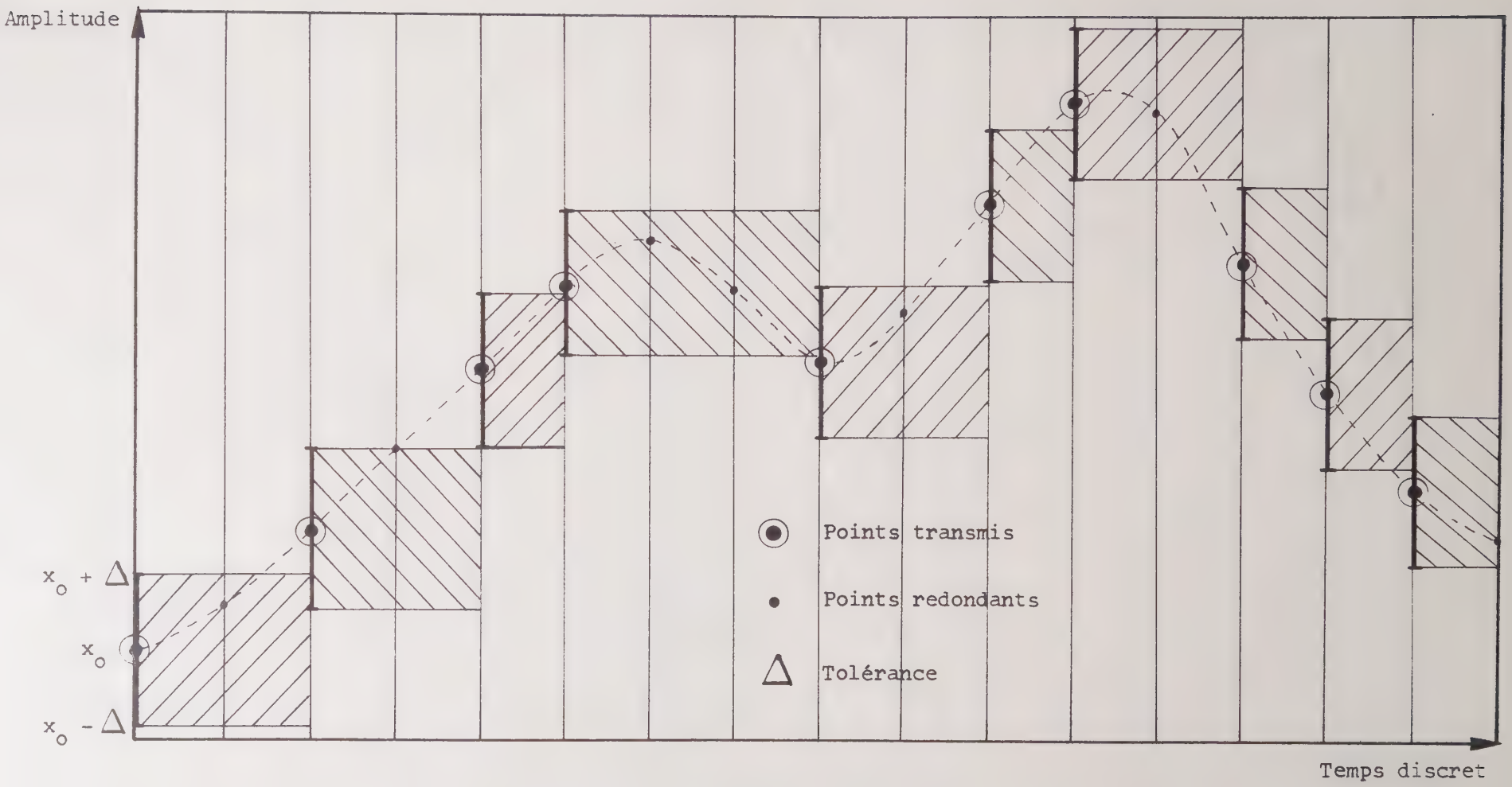


Figure 9 - PREDICTEUR D'ORDRE ZERO A OUVERTURE FLOTTANTE

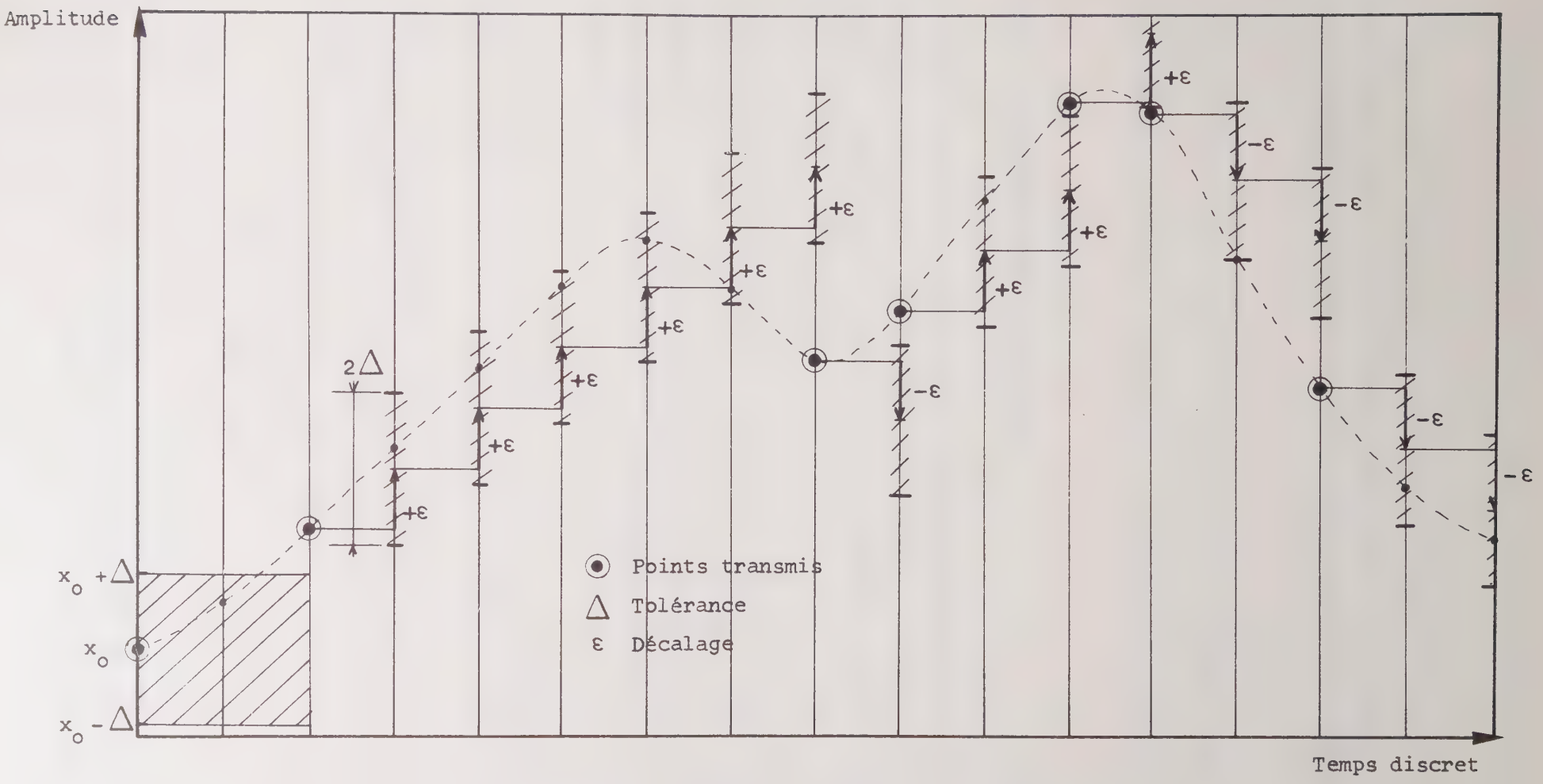


Figure 10 - PREDICTEUR D'ORDRE ZERO A DECALAGE

2.314 - PREDICTEUR D'ORDRE UN

L'estimation est construite en utilisant les deux échantillons précédents :

$$\hat{x}_i = 2.z_{i-1} + z_{i-2}$$

Ceci suppose qu'il y ait une bonne corrélation ; la présence du bruit peut perturber cet algorithme qui peut ainsi donner des résultats médiocres (8).

Des algorithmes d'ordre supérieur peuvent être envisagés, mais l'expérience a prouvé que le faible gain était largement compensé par une grande sensibilité au bruit et par une complexité de réalisation croissante.

2.32 - LES INTERPOLATEURS LINEAIRES

La technique prédictive exploite l'hypothèse que les corrélations à faible distance sont élevées. Les bruits qui viennent s'ajouter lors des traitements et transmissions ont pour effet de diminuer la corrélation et les possibilités de compression.

Pour éliminer cet inconvénient, on a recours aux algorithmes d'interpolation : les valeurs émises par la source sont stockées dans une mémoire intermédiaire, puis on essaie de faire passer par le maximum de points une courbe donnée ; les paramètres de la courbe sont transmis et le processus recommence.

La particularité des interpolateurs est que la décision de compression est prise à posteriori : la transmission est donc retardée.

L'interpolation linéaire est particulièrement intéressante par sa simplicité de réalisation et par son efficacité. Elle est caractérisée par la relation :

$$\hat{x}_i = \sum_{\substack{j=i-m \\ j \neq i}}^{i+n} \alpha_j z_j, \quad z_j = x_j \text{ ou } \hat{x}_j$$

Autrement dit, étant donnée une suite de points $x_i, x_{i+1}, \ldots, x_{i+n}$, nous recherchons les paramètres du segment le plus long, tel que la distance entre les x_i et le segment soit inférieure à Δ, tolérance.

2.321 - INTERPOLATEUR D'ORDRE ZERO

L'algorithme cherche à lisser le processus par des segments de droite horizontaux (Fig. 11). La méthode consiste à tester la plus grande différence entre les échantillons reçus ; si cette différence devient significative (supérieure à 2Δ), il y a non-redondance ; la longueur du segment et son amplitude moyenne sont transmises et le processus recommence ; le retard introduit est d'une période d'échantillonnage.

On voit sur la figure 11 que la fourchette de tolérance est presque totalement utilisée ; pour une même tolérance, cette méthode semble donc bien supérieure à la prédiction d'ordre zéro.

2.322 - INTERPOLATEURS D'ORDRE UN

Le principe de l'interpolateur d'ordre un est similaire à celui de l'interpolateur d'ordre zéro : il faut maximiser le nombre de points compris entre deux parallèles de pente quelconque, espacées de 2Δ, Δ étant la tolérance. Cette forme optimale de l'interpolateur n'est pas réalisable, car elle est complexe et suppose la mémorisation d'un nombre quelconque d'échantillons. Diverses variantes peuvent être envisagées pour simplifier l'algorithme et permettre un calcul pas à pas, nécessitant peu de mémorisation.

Dans tous les cas, lorsqu'une non-redondance est détectée, un point calculé correspondant au dernier point de la droite d'interpolation et les caractéristiques du segment sont transmis avec une période d'échantillonnage de retard.

Pour simplifier l'algorithme, on impose à la droite d'interpolation de passer par un point fixe qui peut être :

- soit le point calculé précédent ;
- soit le premier point réel suivant un segment redondant ; l'avantage de cette solution étant de supprimer des oscillations éventuelles (Fig. 12).

Des algorithmes d'ordre supérieur ont été étudiés (11) ; leur efficacité semble grande, mais la complexité et la longueur des calculs sont incompatibles avec l'application en temps réel que nous nous sommes fixée.

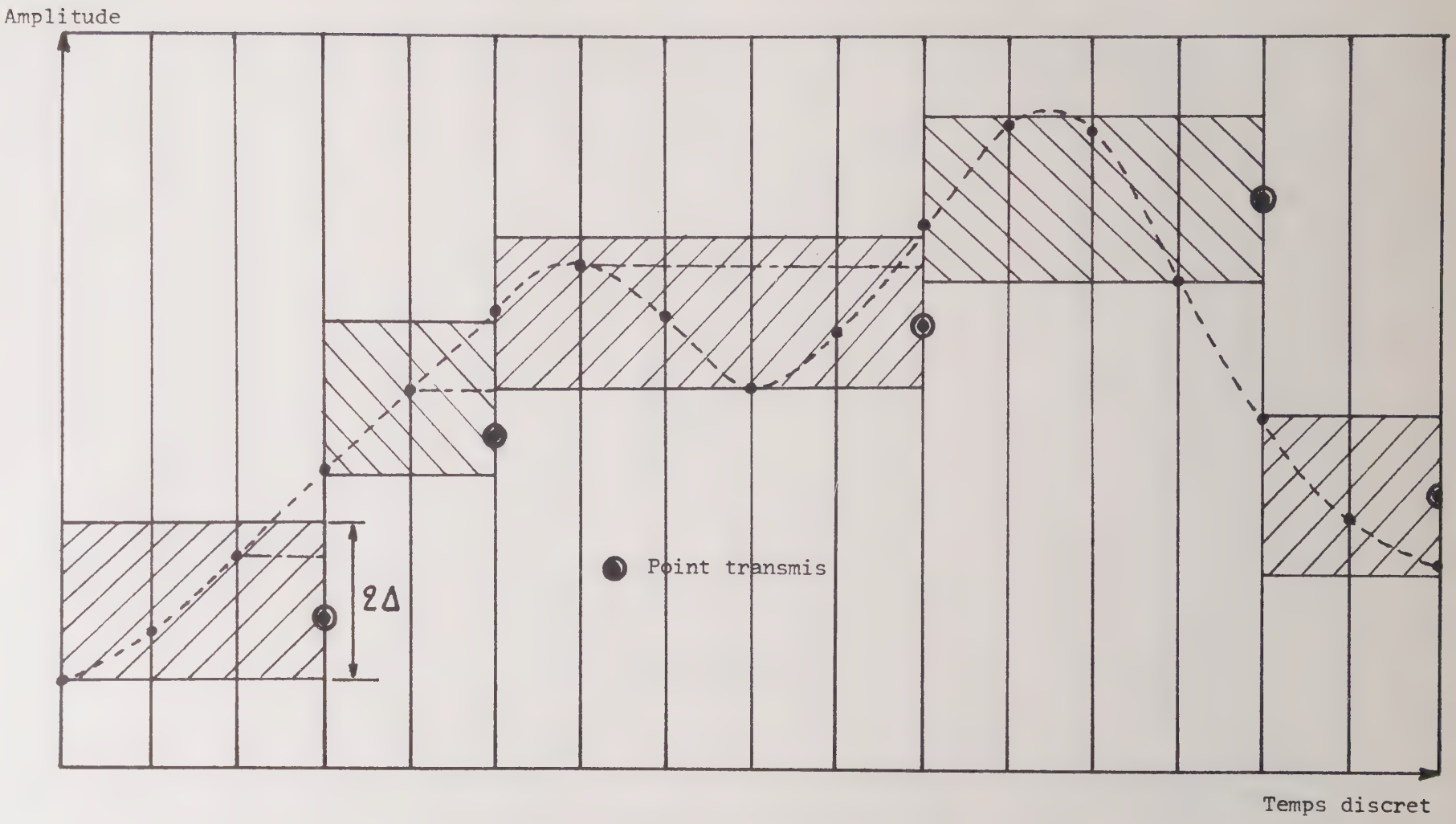


Figure 11 - INTERPOLATEUR D'ORDRE ZERO

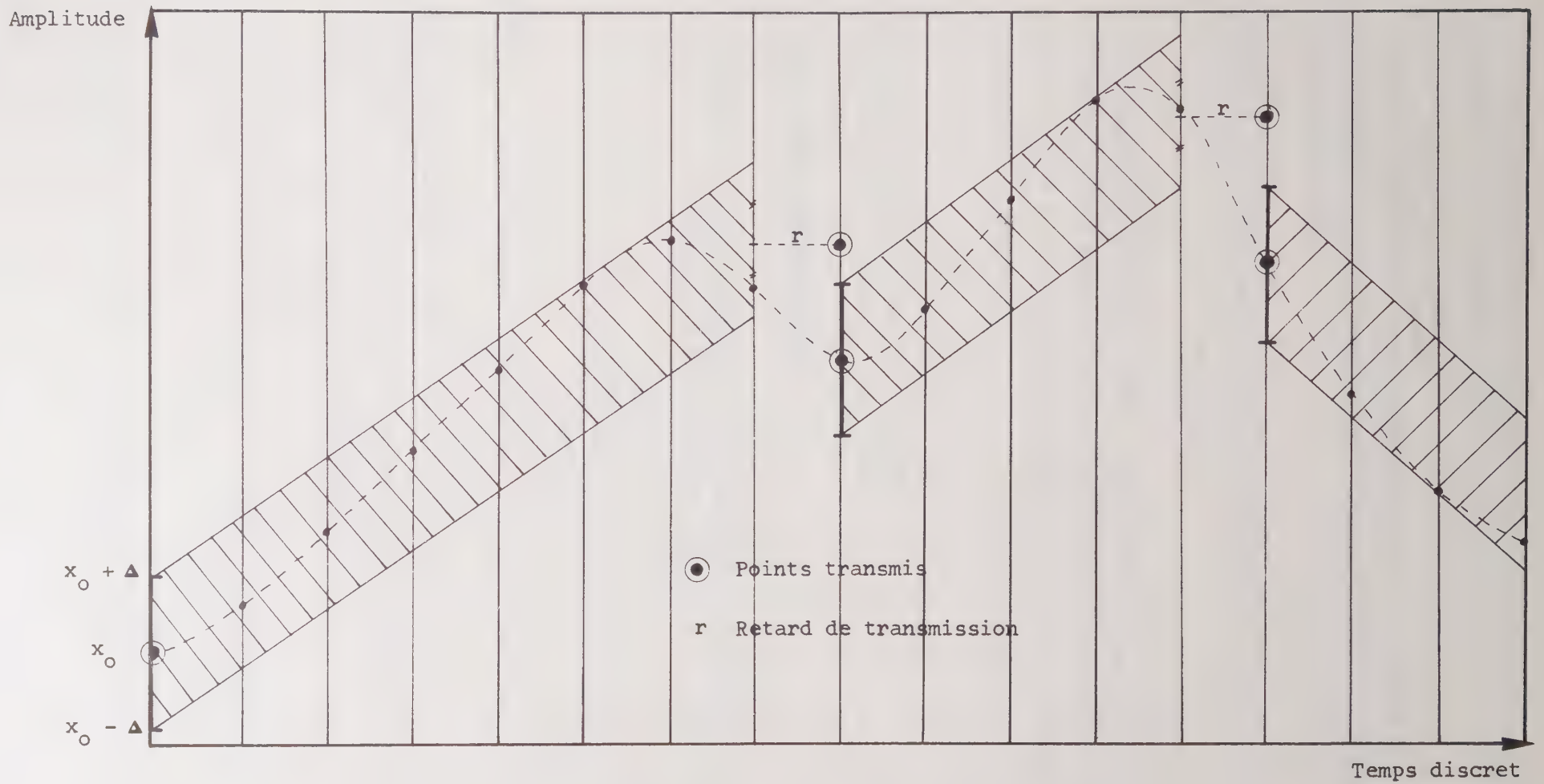


Figure 12 - INTERPOLATEUR D'ORDRE UN

2.4 - CHOIX DES ALGORITHMES

La revue des méthodes de compression montre qu'elles sont nombreuses et présentent des intérêts divers.

Suivant l'emplacement de la compression dans la chaîne de transmission, les possibilités, les contraintes technologiques, les solutions pourront être différentes.

Dans le cas de la compression des télémesures au sol, les algorithmes polynomiaux sont les mieux adaptés.

Auusi allons-nous réduire notre champ d'analyse aux prédicteurs et interpolateurs, et en particulier aux algorithmes d'ordre zéro ; de nombreux auteurs (7) à (12) ont montré en effet qu'ils ont le meilleur rapport performance/complexité.

2.5 - CRITERES D'EFFICACITE ET DE FIDELITE

2.51 - TAUX DE COMPRESSION

L'efficacité d'un algorithme de compression est caractérisé par le rapport de la cadence d'entrée à la cadence de sortie :

$$\tau_c = \left(\frac{C_{entrée}}{E\left[C_{sortie}\right]} \right)$$

τ_c est appelé taux de compression.

Nous avons vu dans le § 2.3 que des informations supplémentaires de datation sont nécessaires ; elles sont naturellement incluses dans le bilan permettant le calcul d'un taux de compression réel.

Dans la suite de l'exposé, nous ne tiendrons pas compte de ces mots supplémentaires, car leur longueur est fonction de contraintes essentiellement technologiques.

Le problème de la datation sera envisagé lors de la réalisation(chapître 4).

Dans ces conditions, le taux de compression est défini par le rapport suivant :

$$\mathcal{C}_c = \frac{\text{nombre de points total}}{\text{nombre de points retenus}}$$

$$\mathcal{C}_c \geq 1$$

2.52 - PRINCIPE DU CALCUL DU TAUX DE COMPRESSION

Pour une source possédant un alphabet à N symboles, le taux de redondances défini par SHANNON s'exprime par la relation :

$$R = 1 - \frac{H}{H_N}$$

où H représente l'entropie de la source
et H_N l'entropie d'une source sans mémoire à N symboles équiprobables :

$$H_N = \log_2 N \quad \text{en logons}$$

De la définition du taux de compression donnée dans le § 2.51, on déduit :

$$\mathcal{C}_{c\ th} = \frac{1}{1 - R}$$

(1 - R) représente le pourcentage d'informations non redondantes.

Soit : $$\mathcal{C}_{c\ th} = \frac{H_N}{H}$$

Le taux de compression théorique peut être représenté par l'inverse du rapport de l'entropie réelle de la source à l'entropie maximale qu'elle aurait si elle étant sans mémoire et si les symboles étaient équiprobables (24).

Ce résultat est intéressant par sa forme, que nous retrouverons par des méthodes différentes ; par contre, son interprétation n'est pas aisée : $\mathcal{C}_{c\ th}$ représente la limite supérieure du taux de compression accessible si un codage permettait la suppression de toutes les redondances sans perte d'information.

Dans la pratique, une faible perte d'information est acceptée : c'est la conséquence de la tolérance Δ des algorithmes ; $\tau_{c\ th}$ peut alors être dépassé, et de ce fait ne représente pas une valeur particulière.

Pour permettre un calcul analytique, nous avons dérivé du théorème suivant une autre expression de τ_c :

Théorème de SHANNON-MAC MILLAN : Etant donnée une source stationnaire ergodique dont chaque tirage a une entropie H, on peut ramener l'étude de cette source à celle d'une source à suites équiprobables, telles que le nombre N_α de suites de α points et la probabilité P_α de tirage d'une suite particulière soit donné par :

$$\left[N_\alpha \simeq 2^{\alpha H} \right]$$
$$\left[P_\alpha \simeq 2^{-\alpha H} \right]$$

On laisse ainsi de côté un très grand nombre de suites de probabilité négligeable.

Appliquons un algorithme de compression, caractérisé par son principe et sa tolérance (f, Δ), à une telle source ; parmi les N_α séquences hautement probables, $N_{c\alpha}$ sont telles que les $(\alpha-1)$ premiers points sont redondants au sens de (f, Δ), le $\alpha^{ième}$ ne l'étant pas. Le taux de compression est alors donné par :

$$\tau_c(\alpha) = \frac{\alpha - 1}{1} = \alpha - 1$$

La probabilité d'atteindre ce taux est donnée par :

$$p(\alpha) = \frac{N_{c\alpha}}{N_\alpha}$$

Sur l'ensemble des séquences possibles, le taux de compression moyen s'exprime ainsi :

$$\tau_c = \sum_{\alpha=2}^{\infty} (\alpha-1).p(\alpha)$$

La sommation peut être étendue de $\alpha=1$ à ∞ car la contribution du premier terme est nulle.

$$\tau_c = \sum_{\alpha=1}^{\infty} (\alpha - 1).p(\alpha)$$

Cette formule est valable dans les mêmes conditions que le théorème de SHANNON-MAC MILLAN : quel que soit α pour les sources sans mémoire à l'alphabet équiprobable, pour α grand dans les autres cas.

2.53 - ERREUR DE RESTITUTION

Le taux de compression, directement lié à la tolérance Δ, caractérise l'efficacité de l'algorithme utilisé.

A la réception, le signal doit être décomprimé. Le signal ainsi obtenu est différent de l'original ; cette différence est l'erreur de restitution.

L'amplitude de l'erreur donne un moyen de juger de la qualité de la restitution :

- l'erreur maximale est Δ
- l'erreur quadratique moyenne sera calculée dans le paragraphe 3.3.

CHAPITRE 3

APPROCHE THEORIQUE

3.1 - EVALUATION DES TAUX DE COMPRESSION

3.11 - POSITION DU PROBLEME

Après avoir exposé l'ensemble des possibilités qui s'offrent pour réduire les redondances dans les signaux, nous allons limiter notre analyse à la classe des algorithmes d'ordre zéro.

Cette classe particulière a plusieurs intérêts théoriques et pratiques :

- conception simple
- analyse mathématique possible
- temps de calcul court (c'est un critère fondamental pour l'application en temps réel de la compression)
- réalisation simple, donc grande fiabilité.

Les algorithmes d'ordre un ayant des mécanismes proches, les conclusions tirées seront également valables pour eux.

L'analyse théorique a un triple but :

- comparer l'efficacité du prédicteur d'ordre zéro avec celle de l'interpolateur de même ordre ;
- évaluer l'influence des propriétés statistiques de la source sur le taux de compression ;
- calculer l'erreur quadratique moyenne de restitution.

Les méthodes d'analyse classiques (théorie de la prédiction en particulier) s'étant révélées peu fructueuses, nous nous sommes orientés vers le traitement statistique.

L'influence des algorithmes est mise en évidence en calculant les taux de compression obtenus sur un signal équiréparti sans mémoire.

Les mêmes calculs sur un signal gaussien sans mémoire montrent l'effet d'une tendance centrale.

L'application du prédicteur d'ordre zéro à deux signaux markoviens permet enfin d'évaluer les conséquences d'un effet de mémoire limité.

L'ensemble des résultats est comparé à des simulations effectuées sur ordinateur IBM 1800.

3.12 - SIGNAL EQUIREPARTI SANS MEMOIRE

3.121 - LE MODELE DE DONNEES

Soit x une variable aléatoire discrète ; à chaque période d'échantillonnage un tirage d'une valeur parmi N est effectué, chaque valeur ayant la même probabilité de $\frac{1}{N}$ d'être tirée.

Ce processus simple possède une entropie maximale :

$$H_N = \log_2 N \quad \text{en logons}$$

Chaque tirage étant indépendant, le processus n'a pas de mémoire. Il satisfait en outre aux critères de stationnarité et d'ergodisme :

- invariance des propriétés statistiques pour un changement de l'origine du temps ;
- convergence de la moyenne temporelle vers l'espérance mathématique.

3.122 - PREDICTEUR D'ORDRE ZERO

D'une façon rigoureuse, si le processus est issu d'un point x_o, le taux de compression est défini par :

$$\mathcal{C}_c (x_o) = \sum_{\alpha=1}^{\infty} (\alpha-1)\ p(\alpha \mid x_o)$$

avec $$p(\alpha \mid x_o) = \frac{N_c(\alpha)\ x_o}{N(\alpha)\ x_o} \qquad (\text{cf } \S\ 2.52)$$

La distribution de probabilité étant uniforme, on en déduit :

$$\mathcal{C}_c = \mathcal{C}_c(x_o)$$

Soit x_o le premier point du segment (Fig. 13) et Δ la tolérance ;

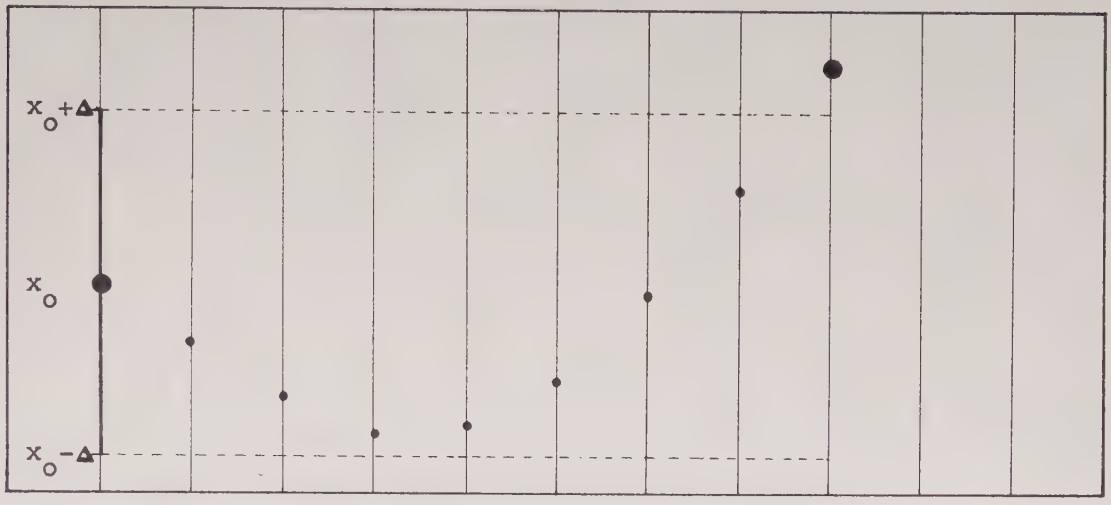


Figure 13 - COMPRESSION PAR PREDICTEUR D'ORDRE ZERO

Le théorème de SHANNON-MAC MILLAN ou le calcul direct donne :

$$N(\alpha) = N^{\alpha}$$

$N(\alpha)$ étant le nombre de séquences de α points. Le nombre de séquences de points issues de x_o est :

$$N(\alpha \mid x_o) = N^{\alpha} / N = N^{\alpha-1}$$

Les séquences redondantes de α points issues de x_o sont telles que $\alpha-1$ points sont compris entre

$$[x_o - \Delta] \text{ et } [x_o + \Delta]$$

le $\alpha^{\text{ième}}$ ne devant pas appartenir à cet intervalle.

Il est aisé de calculer leur nombre ;

$$N_c(\alpha) = (2\Delta + 1)^{\alpha-2} \qquad [N - (2\Delta + 1)]$$

D'où : $$p(\alpha) = \left(\frac{2\Delta + 1}{N}\right)^{\alpha-2} \left[\frac{N - (2\Delta + 1)}{N}\right]$$

Si $x = \frac{2\Delta + 1}{N}$, $p(\alpha) = x^{\alpha-2}(1 - x)$ pour $\alpha \geq 2$

Le taux de compression est alors donné par :

$$\tau_c = \sum_{\alpha=2}^{\infty} (\alpha - 1)(1 - x)\, x^{\alpha-2}$$

pour $x < 1$, cette série converge vers :

$$\tau_c = \frac{1}{1 - x}, \quad x = \frac{2\Delta + 1}{N} \qquad (3.1)$$

Cette formule montre que le taux de compression suit une loi hyperbolique ; en général, la tolérance est faible par rapport à la dynamique, l'expression peut alors être développée jusqu'à l'ordre deux :

$$\tau_c \approx 1 + x + x^2$$

Si l'on examine le cas de x grand, on s'aperçoit que la formule n'est plus valable : au bord de la dynamique, la tolérance est artificiellement diminuée, du fait que la probabilité d'une valeur supérieure à N ou inférieure à 0 est nulle (Fig. 14).

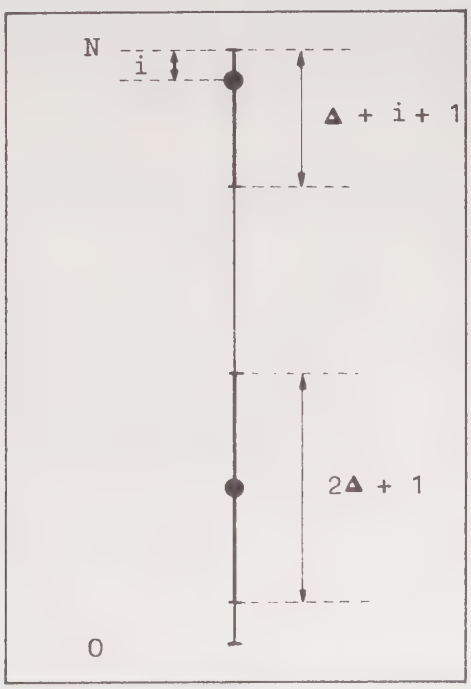


Figure 14 - EFFET DE BORD

On peut appliquer une correction simple en remplaçant la tolérance $(2\Delta + 1)$ par sa moyenne $E(f)$ sur toute la dynamique ; cette approximation étant suffisante pour une correction.

$$E(f) = \sum_{i=\Delta}^{N-\Delta} \frac{2\Delta + 1}{N} + 2 \sum_{i=0}^{\Delta-1} \left(\frac{\Delta + i + 1}{N} \right)$$

Si l'échelle de quantification est suffisante, ce qui est généralement le cas, 1 peut être négligé devant Δ.

$$E(f) = (N - 2\Delta) \frac{2\Delta}{N} + \frac{2\Delta}{N} \left(\frac{3}{2} \Delta \right)$$

En remplaçant $(2\Delta + 1)$ par $E(f)$ dans la formule (3.1), on obtient :

$$\boxed{\mathcal{C}_c = \left(\frac{1}{1 - \frac{x}{2}} \right)^2} \qquad (3.2)$$

avec $\quad x = \dfrac{2\Delta + 1}{N} < 1$

Lorsque $x \geqslant 1$, le taux de compression peut être soit infini, soit donné par la formule (3.2) suivant la position du point x_o

3.123 - INTERPOLATEUR D'ORDRE ZERO

Le calcul du taux de compression provoqué par l'interpolateur est fondé sur le même principe. Il faut calculer le nombre de séquences redondantes $N_c\alpha$ (Fig. 15)

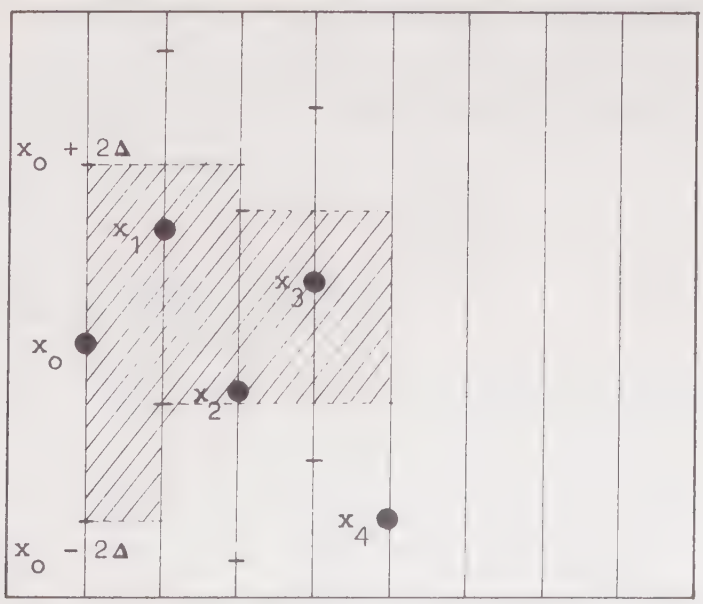


Figure 15 - MECANISME DE L'INTERPOLATEUR D'ORDRE ZERO

Le nombre de suites de deux points dont un seul est dans la tolérance est :

$$N_c\ [\mathcal{C} = 1] \quad = \quad N - 4\Delta - 1$$

N dynamique totale

Δ tolérance.

Si l'on néglige 1 devant Δ, et si l'on pose $x = \frac{2\Delta}{N}$, fourchette relative, la probabilité d'obtention d'un taux de compression $\mathcal{C}_c = 1$ est donnée par :

$$p\ [\mathcal{C}_c = 1] \quad = \quad \frac{N_c\ [\mathcal{C} = 1]}{N}$$

Soit : $$p\ [\mathcal{C}_c = 1] \quad = \quad 1 - 2x \qquad (3.3)$$

Le nombre de séquences de trois points dont deux sont redondants est calculé par sommation :

$$N_c\ [\mathcal{C} = 2] \quad = \sum_{x_1 \text{ redondants}} N_c\ [\mathcal{C}=2 \mid x_1]$$

x_1 est le deuxième tirage de la variable aléatoire. Pour l'ensemble des valeurs qu'il peut prendre dans l'intervalle défini par la tolérance

$$(x_1 \in [x_o - 2\Delta,\ x_o + 2\Delta])$$

le nombre de séquences redondantes est calculé ; on trouve par sommation :

$$N_c\ [\mathcal{C}= 2] \quad = \quad (N - 4\Delta - 1) + 2 \sum_{j=\emptyset}^{2\Delta-1} [(N - 2\Delta - 1) - j] \qquad (3.4)$$

La probabilité d'obtenir un taux de compression de deux est alors :

$$p\ [\mathcal{C}_c = 2] \quad = \quad 2x - 3x^2 \qquad (3.5)$$

pour $N \geqslant 1$, ce qui est toujours le cas.

La comparaison des formules (3.3) et (3.5) suggère une loi de formation :

$$\boxed{p\ [\mathcal{C}_c = \alpha] \quad = \quad \alpha x^{\alpha-1} - (\alpha + 1)\ x^{\alpha}} \qquad (3.6)$$

Le calcul du nombre de séquences de quatre points dont trois sont redondants confirme cette hypothèse :

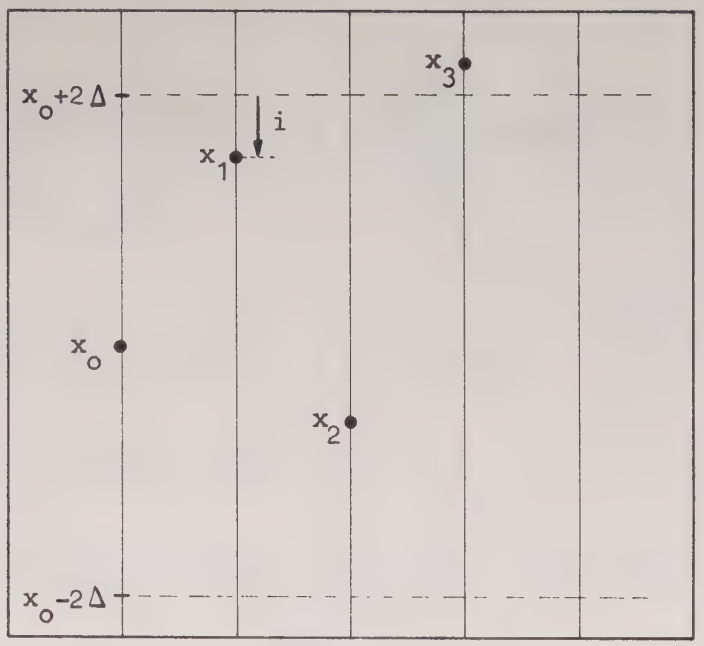


Figure 16

$$N_c\left[\mathcal{C}=3 \mid x_1 = x_o + 2\Delta \text{ et } \forall\, x_2 \text{ redondant}\right] = (2\Delta + 1)(N-2\Delta - 1) \quad \text{cf Fig. 16}$$

$$N_c\left[\mathcal{C}=3 \mid x_1 = x_o + 2\Delta - 1 \text{ et } x_2 = x_o + 2\Delta\right] = N - 2\Delta - 1$$

$$N_c\left[\mathcal{C}=3 \mid x_1 = x_o + 2\Delta - 1 \text{ et } x_2 = x_o + 2\Delta - 1\right] = (N - 2\Delta - 1) - 1$$

$$\vdots$$

En sommant pour tous les x_2 redondants, on trouve :

$$N_c\left[\mathcal{C}=3 \mid x_1 = x_o + 2\Delta - 1\right] = 2\left[N-(2\Delta + 1)\right] + \left[(2\Delta + 2) - 2\right]\left[N - (2\Delta + 2)\right]$$

Des calculs similaires pour $x_1 = x_o + 2\Delta - 2$ montrent que :

$$N_c\left[\mathcal{C}=3 \mid x_1 = x_o + 2\Delta - 2\right] = 2\left[N - (2\Delta+1)\right] + 2\left[N - (2\Delta+2)\right] + \left[(2\Delta+3)-4\right]\left[N - (2\Delta+3)\right]$$

La loi générale de formation est donnée par :

$$N_c\left[\mathcal{C}=3 \mid (x_o + 2\Delta - x_1) = i\right] = \left[(2\Delta+1)-i-2\right] \times \left[N-(2\Delta+1)-i\right] + 2\sum_{j=0}^{i}\left[N-(2\Delta+1)-j\right] \quad (3.7)$$

Pour le cas où $x_1 = x_o$, soit $i = 2\Delta$, on vérifie bien que l'expression (3.7) se simplifie pour redonner la formule (3.4). En sommant sur toutes les valeurs de i, nous obtenons le nombre de séquences de quatre points dont trois sont redondants :

$$N_c\,[\mathcal{C}=3] = 2\sum_{i=0}^{2\Delta-1}\left\{(2\Delta-i-1)(N-2\Delta-i-1) + 2\sum_{j=0}^{i}(N-2\Delta-1-j)\right\} + 2\sum_{j=0}^{2\Delta}(N-2\Delta-1-j) - (N-4\Delta-1) \qquad (3.8)$$

du fait de la symétrie du problème, la sommation est doublée pour $i \in [0, 2\Delta-1]$, puis pour le terme obtenu pour $i = 2\Delta$ est ajouté.

En effectuant :

$$N_c\,[\mathcal{C}=3] = -32\Delta^3 + 12\Delta^2 N - 6\Delta N + 4\Delta + N$$

La probabilité d'obtenir un taux de compression égal à trois est donnée par :

$$p\,[\mathcal{C}_c = 3] = \frac{N_c\,(\mathcal{C}=3)}{N^3}$$

$$p\,[\mathcal{C}_c = 3] = -32\frac{\Delta^3}{N^3} + 12\frac{\Delta^2}{N^2} - 6\frac{\Delta}{N^2} + 4\frac{\Delta}{N^3} + \frac{1}{N^2}$$

En tenant compte du fait que $\Delta \leqslant N$ et $\Delta \gg 1$, il vient :

$$p\,[\mathcal{C}_c = 3] \simeq -4\left(\frac{2\Delta}{N}\right)^3 + 3\left(\frac{2\Delta}{N}\right)^2$$

soit :

$$x = \frac{2\Delta + 1}{N} \simeq \frac{2\Delta}{N}$$

$$p\,[\mathcal{C}_c = 3] \simeq -4x^3 + 3x^2$$

Avec une très bonne précision $p\,[\mathcal{C}_c = 3]$ confirme la loi de formation (3.6)

$$\boxed{p\left[\mathcal{C}_c = \alpha\right] = \alpha x^{\alpha-1} - (\alpha+1)\,x^{\alpha}} \qquad (3.6)\ \text{rappel}$$

Elle satisfait à la propriété fondamentale des probabilités :

$$\sum_{\alpha=1}^{\infty} p\,[\mathcal{C}_c = \alpha] = 1$$

Par application de (3.6) dans la formule donnant le taux de compression :

$$\mathcal{C}_c = \sum_{\alpha=1}^{\infty} \alpha \; p \left[\mathcal{C}_c = \alpha\right]$$

il vient :
$$\mathcal{C}_c = \sum_{\alpha=1}^{\infty} \left[\alpha x^{\alpha-1} - (\alpha+1)\, x^{\alpha}\right]$$

$$\mathcal{C}_c = 1 + 2x + 3x^2 + \ldots$$

Cette série converge vers :

$$\boxed{\mathcal{C}_c = \left(\frac{1}{1-x}\right)^2} \qquad (3.9)$$

pour tout $x<1$.

Comme pour le prédicteur, la fourchette peut être diminuée lorsqu'un point est au bord de la dynamique ; nous appliquons la même correction, en remplaçant x par $(x - \frac{x^2}{4})$

(3.9) devient : $$\boxed{\mathcal{C}_c = \left(\frac{1}{1-\frac{x}{2}}\right)^4} \qquad (3.10)$$

avec $x<1$.

3.124 - VERIFICATION EXPERIMENTALE

Le principe de la vérification est donné dans la figure 17.

Le générateur de données aléatoires est un sous-programme IBM procédant par addition avec perte d'un certain nombre de bits de poids forts.

Son caractère aléatoire a été vérifié

- par contrôle de sa densité de probabilité
- par calcul de la fonction d'autocorrélation (Tableau I)

Les résultats obtenus montrent que le signal est de bonne qualité.
Les algorithmes de compression ont été programmés sur IBM 1800 ; les résultats sont résumés par le tableau II.

La comparaison des résultats obtenus par calcul et simulation montre que les modèles mathématiques et les approximations faites sont valables.
L'écart quadratique moyen entre calcul et mesure est :

$$\sigma_e = 0{,}02 \quad \text{pour le prédicteur}$$
$$\sigma_e = 0{,}28 \quad \text{pour l'interpolateur}$$

dans le domaine de validité de (3.10) défini par $\frac{2\Delta}{N} < 1$.

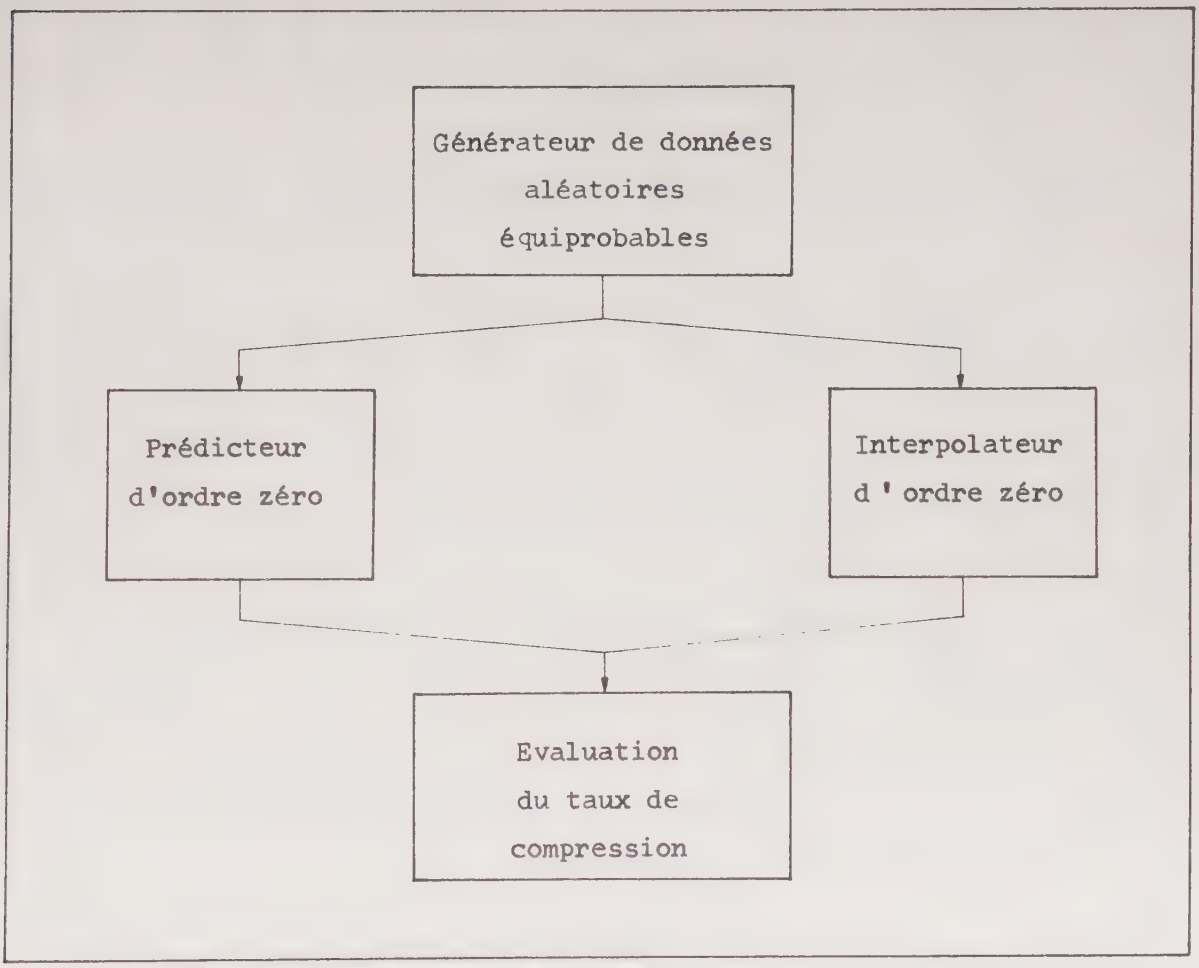


Figure 17 - PRINCIPE DE LA VERIFICATION EXPERIMENTALE

τ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$c(\tau)$	1	0,01	0,02	0,05	0,02	0,04	0,02	0,07	0,04

Tableau I - FONCTION D'AUTOCORRELATION DU SIGNAL EQUIPARTI

Δ en %	Compression par prédicteur		Compression par interpolateur	
	$\mathcal{C}_c$ calculé	$\mathcal{C}_c$ mesuré	$\mathcal{C}_c$ calculé	$\mathcal{C}_c$ mesuré
0,5	1,010	1,010	1,020	1,020
1	1,020	1,020	1,041	1,041
2	1,041	1,041	1,082	1,082
3	1,062	1,062	1,129	1,129
4	1,084	1,085	1,173	1,179
5	1,108	1,108	1,22	1,22
7,5	1,167	1,168	1,35	1,36
10	1,234	1,233	1,49	1,52
15	1,382	1,382	1,83	1,91
20	1,554	1,561	2,24	2,44
30	2,05	2,01	3,4	4,2
40	2,84	2,78	6,9	7,7
50	3,99	4,00	∞	16

Tableau II - PREDICTEUR / INTERPOLATEUR D'ORDRE ZERO
COMPARAISON DES TAUX DE COMPRESSION CALCULES ET MESURES

3.13 - SIGNAL GAUSSIEN SANS MEMOIRE

3.131 - LE MODELE DE DONNEES

Soit x une variable aléatoire gaussienne centrée ; à chaque pas de l'horloge d'échantillonnage, un tirage de x est effectué ; le processus obtenu, discret dans le temps et continu dans l'espace, ne possède pas de mémoire.

L'entropie d'une source continue est donnée par :

$$H(x) = \int p(x) \ln p(x) \, dx$$

Cette intégrale converge pour une loi gaussienne :

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

x variable centrée, σ écart type

$$H(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \left[-\ln \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} + \frac{x^2}{2\sigma^2} \right] dx$$

En tenant compte du fait que :

$$\int \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \, dx = 1$$

on obtient :

$$H(x) = \ln \sigma\sqrt{2\pi} + \frac{1}{2}$$

soit : $H(x) = \ln \sigma \sqrt{2\pi e}$ en nats

ou :

$$\boxed{H(x) = \log_2 \sigma\sqrt{2\pi e} \quad \text{en logons}} \qquad (3.11)$$

D'après le théorème de SHANNON-MAC MILLAN (§ 2.52), le nombre de valeurs hautement probables prises par x est $N = 2^H$ pour un seul tirage, soit :

$$N = \sqrt{2\pi e}. \, \sigma$$

Parmi les séquences de haute probabilité, les séquences redondantes sont données par le même calcul que dans § 3.12.

3.132 - PREDICTEUR D'ORDRE ZERO

On en déduit l'expression du taux de compression en remplaçant N, nombre de tirages possibles, par $\sqrt{2\pi e}.\sigma$ dans la formule (3.1)

$$\tau_c = \frac{1}{1 - \sqrt{\frac{2}{\pi e}} \left(\frac{\Delta}{\sigma}\right)} \qquad (3.12)$$

La correction d'effet de bord est inutile, car même si, en pratique, on borne la dynamique, les suites de points proches des bornes sont très improbables. L'examen de cette expression montre que le taux de compression ne dépend que du rapport :

$$\left(\frac{\Delta}{\sigma}\right)$$

3.133 - INTERPOLATEUR D'ORDRE ZERO

De même, dans la formule (3.9), N est remplacé par $\sqrt{2\pi e}.\sigma$

$$\tau_c = \left[\frac{1}{1 - \sqrt{\frac{2}{\pi e}} \left(\frac{\Delta}{\sigma}\right)}\right]^2 \qquad (3.13)$$

3.134 - VERIFICATION EXPERIMENTALE

La source utilisée est un générateur de bruit gaussien aléatoire dans une bande de 500 Hz ; le signal a été échantillonné à 1000 Hz, quantifié et stocké sur bande numérique.

La distribution obtenue est parfaitement gaussienne. L'examen de la fonction d'autocorrélation (Tableau III) montre que la source est sans mémoire.

τ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C(\tau)$	1,00	0,14	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00

τ : Temps $C(\tau)$: Corrélation

Tableau III - AUTOCORRELATION DE LA SOURCE GAUSSIENNE

Les résultats obtenus en comprimant ce signal par un prédicteur et un interpolateur sont résumés dans le tableau IV.

La faiblesse de l'écart quadratique moyen entre grandeurs mesurées et calculées montre le bien fondé des hypothèses de calcul :

$$\sigma_{pred} = 0,085$$

$$\sigma_{intr} = 0,080$$

3.14 - SIGNAUX MARKOVIENS

3.141 - MODELES DE DONNEES

Soit x une variable aléatoire discrète ; au pas n de l'horloge d'échantillonnage, on effectue un tirage tel que :

$$p\left[x_n = k \,\middle|\, x_{(n-1)} = j,\ x_{(n-2)} = i, \ldots x_o = a\right] =$$

$$p\left[x_n = k \,\middle|\, x_{(n-1)} = j\right]$$

Cette relation définit un processus markovien discret dans le temps et dans l'espace, dont la mémoire est limitée à une période d'échantillonnage. Les promenades aléatoires illustrent ce processus :

- Dans la promenade aléatoire simple, la variable x est quantifiée ; sa loi de formation est donnée par :

$$x_n = x_{n-1} + z_n$$

$\frac{\Delta}{\sigma}$ en %	Compression par prédicteur		Compression par interpolateur	
	$\mathcal{C}$ c calculé	$\mathcal{C}$ c mesuré	$\mathcal{C}$ c calculé	$\mathcal{C}$ c mesuré
1	1,005	1,006	1,010	1,010
2	1,010	1,010	1,020	1,021
3	1,015	1,016	1,030	1,031
4	1,020	1,023	1,040	1,045
5	1,026	1,029	1,052	1,056
10	1,053	1,057	1,11	1,12
20	1,12	1,12	1,24	1,27
35	1,21	1,25	1,47	1,54
50	1,33	1,39	1,78	1,88
75	1,60	1,70	2,56	2,62
100	2,0	2,14	4,0	3,7
150	3,65	4,77	13,3	8,1

Tableau IV - SIGNAL GAUSSIEN - COMPRESSION PAR PREDICTEUR ET INTERPOLATEUR

z_n est une variable aléatoire indépendante de x prenant les valeurs :

$$\left\{\begin{matrix}+1\\0\\-1\end{matrix}\right\} \quad \text{avec les probabilités} \quad \left\{\begin{matrix}(1-p)/2\\p\\(1-p)/2\end{matrix}\right\}$$

- Dans la promenade aléatoire généralisée, la variable x est continue ; la loi de formation est identique :

$$x_n = x_{n-1} + z_n$$

z_n est une variable aléatoire gaussienne centrée, indépendante de x.

Ces deux processus ne sont ni stationnaires ni bornés. Dans la pratique, les signaux ont une dynamique finie ; ceci se traduit pour les processus markoviens par l'imposition de deux barrières réfléchissantes SUP et INF définies par les relations :

- si $x_{n-1} + z_n \geqslant SUP \Longrightarrow x_n = SUP$
- si $x_{n-1} + z_n \leqslant INF \Longrightarrow x_n = INF$

On démontre (25) alors que le système tend vers un équilibre où la probabilité d'occupation de chaque niveau ne dépend plus que de la position des barrières réfléchissantes ; dans le cas des promenades aléatoires symétriques, tous les états sont, à l'équilibre, également probables.

3.142 - PRINCIPE DU CALCUL

Soit une promenade aléatoire débutant en $x_o = 0$; nous l'encadrons de deux barrières absorbantes aux abcisses $(x_o + \Delta + 1)$ et $(x_o - \Delta - 1)$ représentant les limites de la tolérance dans le cas d'un prédicteur d'ordre zéro. Dès qu'un point tente de traverser une des barrières, il est absorbé. Le temps moyen d'absorption E(N) est égal à la longueur moyenne du segment redondant. On en déduit de façon simple le taux de compression :

$$\boxed{\mathcal{C}_c = 1 + E(N)} \qquad (3.14)$$

Le calcul ne tient pas compte de l'influence des barrières réfléchissantes aux bornes de la dynamique ; il n'est valable que pour une tolérance petite, ce qui est le cas le plus commun. Le temps moyen d'absorption est dérivé de l'Identité de WALD (26).

3.143 - CALCUL DES TAUX DE COMPRESSION

a) Identité de WALD

L'identité de WALD est un résultat important de la théorie des promenades aléatoires en présence de barrières d'absorption.

$$\boxed{E\left[e^{-\theta x_N}\left\{f^*(\theta)\right\}^{-N}\right] = 1} \qquad (3.15)$$

avec x_N : valeur de la variable x lors de l'absorption

N : temps jusqu'à l'absorption

$f^*(\theta) = E\left[e^{-\theta x}\right]$ fonction génératrice

Principe de la démonstration

Soit une promenade aléatoire généralisée limitée par deux barrières absorbantes $[a, b]$; soient $f(x)$ la densité de probabilité de la variable z, et $f^*(\theta)$ une fonction génératrice définie par $f^*(\theta) = E\left[e^{-\theta z}\right]$.

Si l'on suppose que le domaine de variation est continu, la probabilité d'absorption au temps N est donnée par :

$$f_N(x)\,dx = \text{Prob}\left[x < x_N < x + dx,\ a < x_1, x_2 \ldots x_{N-1} < b\right]$$

avec $x < a$ ou $x > b$

On construit alors une fonction génératrice

$$F(\theta, S) = E(e^{-\theta x_N} s^N)$$

$$E(e^{-\theta x_N} s^N) = \sum_{n=1}^{\infty} s^n \left[\int e^{-\theta x} f_n(x)\,dx\right]$$

En tenant compte : - de la relation de récurrence $f_n(x) = \int_a^b f_{n-1}(y)\, f(x-y)dy$

- de l'égalité

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\theta x} f_n(x)\,dx = f^*(\theta)\int_a^b e^{-\theta y} f_{n-1}(y)\,dy$$

on obtient : $$E(e^{-\theta x_N} s^N) = 1 - \left[1 - sf^*(\theta)\right]\int_a^b e^{-\theta x_n} f_n(x)\,dx$$

Cette relation est valable pour tout s, en particulier si $s = 1/f^*(\theta)$;

Il en résulte l'identité de WALD.

b) Calcul du taux de compression

La variable z est gaussienne centrée, on en déduit sa fonction génératrice :

$$f^*(\theta) = e^{\frac{1}{2}\sigma^{-2}\theta^2}$$

En remplaçant dans l'identité de WALD, il vient :

$$E\left[\exp(-\theta x_N) \cdot \left\{\exp\left(\tfrac{1}{2}\sigma^{-2}\theta^2\right)\right\}^{-N}\right] = 1$$

Pour θ petit, l'expression peut être développée au second ordre :

$$E\left\{-\theta x_N + \frac{\theta^2}{2}\left(x_N^2 - N\sigma^{-2}\right) + \ldots\right\} = 0$$

La formule précédente étant valable pour tout θ, il vient :

* $E(x_N) = 0$

* $\boxed{E(N) = \dfrac{E(x_N^2)}{\sigma^{-2}}}$

Pour toute promenade aléatoire généralisée symétrique, le taux de compression peut être donné par :

$$\mathcal{C}_c = 1 + \frac{E(x_N^2)}{\sigma^2} \qquad (3.16)$$

avec $E(x_N^2)$ moment d'ordre 2 de la valeur de la variable à l'absorption.

σ^2 variance de la variable aléatoire d'accroissement z

c) Promenade aléatoire simple

Supposons que deux barrières absorbantes soient disposées à $\pm \Delta$ du point initial x_o (Fig. 18). Pour être homogène avec les notations précédentes, nous supposerons qu'il y a absorption lorsque la barrière est franchie, c'est-à-dire lorsque :

$$x_N = (\Delta + 1) \quad \text{ou} \quad (-\Delta - 1)$$

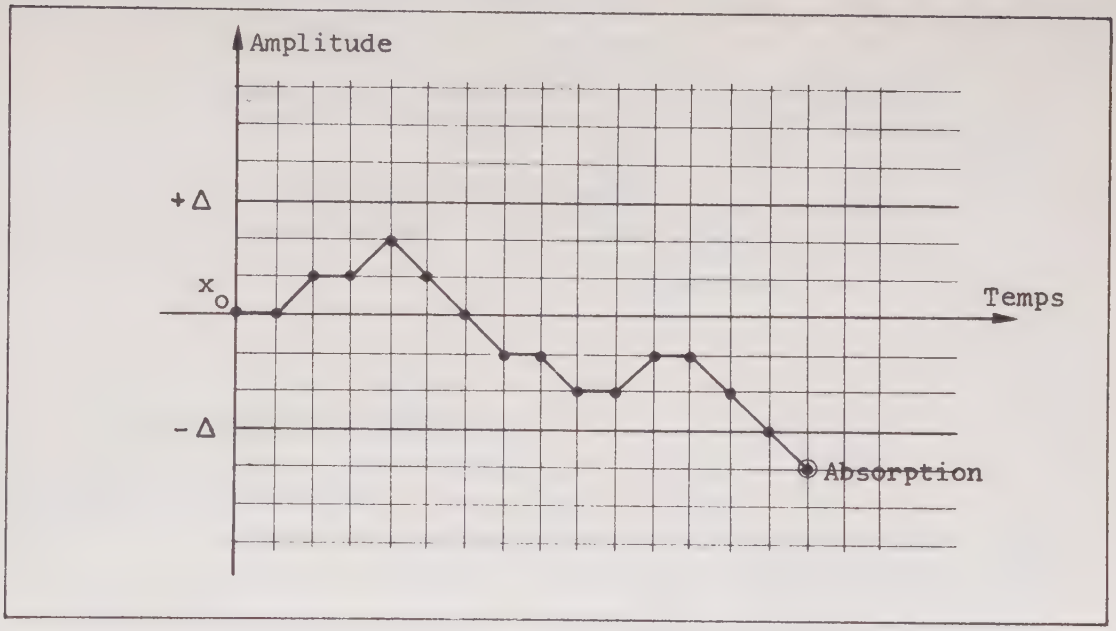


Figure 18 - PROMENADE ALEATOIRE SIMPLE

L'accroissement étant unitaire, l'absorption ne peut avoir lieu que sur une des deux frontières :

$$E(x_N^2) = \sum_{x_N=(\Delta+1) \text{ ou } (-\Delta-1)} x_N^2 \, p(x_N)$$

soit : $$E(x_N^2) = (\Delta + 1)^2$$

La variance de la variable z est donnée par :

$$\sigma^2 = 1 - p \quad \text{en unité de largeur au carré}$$

$$\mathcal{T}_c = 1 + \frac{(\Delta + 1)^2}{1 - p} \qquad (3.17)$$

Cette formule ne tient pas compte de l'influence des barrières réfléchissantes aux bornes de la dynamique, et est indépendante de celle-ci. Elle n'est donc rigoureuse que pour une tolérance faible devant la dynamique.

d) Promenade aléatoire généralisée

Lorsque la tolérance n'est pas trop petite, l'absorption, pour une valeur de x_N proche de Δ ou $(-\Delta)$, est très probable. On en déduit :

$$E\,(x_N^2) \simeq (\Delta + 1)^2$$

Le taux de compression est alors donné par :

$$\mathcal{T}_c \simeq 1 + \frac{(\Delta + 1)^2}{\sigma^2} \qquad (3.18)$$

Cette formule est valable pour - Δ du même ordre que σ

- $\Delta \ll N$, dynamique

3.144 - VERIFICATIONS EXPERIMENTALES

a) Marche aléatoire simple

Le générateur de données aléatoires est utilisé pour déterminer si le saut aura une amplitude +1, 0 ou -1. La dynamique est N = 64, bornée par deux barrières réfléchissantes. Les résultats obtenus (Tableaux V et VI) sont parfaitement concordants avec les résultats calculés.

b) Promenade aléatoire généralisée

$$x_n = x_{n-1} + z_n \qquad \text{(cf Fig. 19)}$$

La variable z_n est générée par programme (application du théorème central limité). Pour limiter l'influence des bords de la dynamique, nous avons utilisé des barrières de réflexion particulières :

- si $x_{n-1} \neq 0$ ou N, et si $x_{n-1} + z_n > N$, ou si $x_{n-1} + z_n < 0$,

alors $x_n = 0$ ou N

- si $x_{n-1} = 0$ ou N, et si $x_{n-1} + z_n > N$, ou $x_{n-1} < 0$,

alors $x_n = x_{n-1} - z_n$

Dans ces conditions, les résultats obtenus concordent bien avec le calcul (Tableau VII).

Pour $\sigma < \Delta < 2\sigma$, la concordance est bonne ; pour les valeurs de Δ inférieures à σ , la qualité est moindre, ce qui est logique, si l'on se souvient des conditions de calcul données dans le § 3.144.d.

Pour $\Delta > 26$, la divergence constatée est due au supplément de redondances introduites par les barrières réfléchissantes aux limites de la dynamique.

Δ TOLERANCE	$\mathcal{C}_c$ CALCULE	$\mathcal{C}_c$ MESURE
0	2,43	
1	5,7	5,8
2	13	14
3	23	24
4	36	42
5	55	55
6	70	80
7	91	103

Tableau V - PROMENADE ALEATOIRE SIMPLE

Compression par prédicteur : N = 64
P = 0,3

P PROBABILITE DE NON-TRANSITION	$\mathcal{C}_c$ CALCULE	$\mathcal{C}_c$ MESURE
0,1	19	18
0,2	21	21
0,3	24	24
0,4	28	27
0,5	33	31
0,6	41	41
0,7	54	51
0,8	81	74
0,9	161	160

Tableau VI - PROMENADE ALEATOIRE SIMPLE

Compression par prédicteur : N = 64, Δ = 3

Δ TOLERANCE	$\mathcal{C}_c$ CALCULE	$\mathcal{C}_c$ MESURE
0	1,02	1,04
1	1,08	1,18
2	1,18	1,35
3	1,32	1,5
4	1,5	1,7
5	1,7	2,1
6	2,0	2,4
7	2,3	2,6
99	3,0	3,0
11	3,9	3,8
14	5,6	4,7
21	10,9	6

Tableau VII - PROMENADE ALEATOIRE GENERALISEE

Compression par prédicteur : N = 64, σ = 7

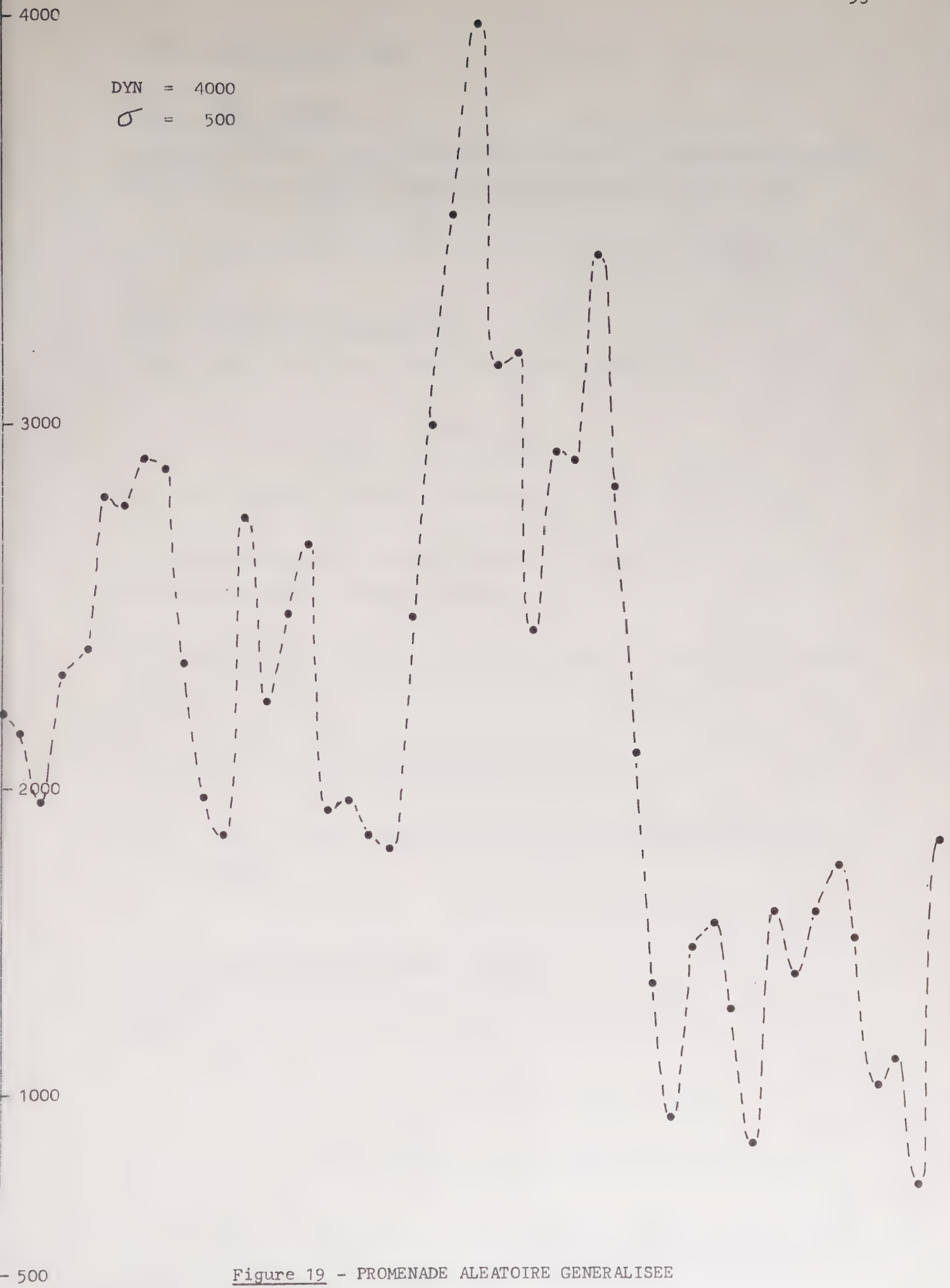


Figure 19 - PROMENADE ALEATOIRE GENERALISEE

3.15 - ANALYSE DES RESULTATS

3.151 - FORME GENERALE

La formulation des résultats obtenus par compression de signaux sans mémoire (3.2, 3.10, 3.12, 3.13) est très proche de la forme générale prévue :

$$\tau_c = \frac{1}{1 - R} \qquad (\S\ 2.52)$$

3.152 - INFLUENCE DE L'ALGORITHME

Toutes choses égales par ailleurs, nous avons montré que :

$$\tau_{c\ INT} = \left[\tau_{c\ PRED}\right]^2$$

pour des tolérances réalistes (inférieures à $\pm$ 40 % de la dynamique).

La tolérance détermine l'erreur quadratique moyenne de restitution, elle-même utilisée comme critère de qualité.

Il en résulte qu'à qualité égale de restitution, on préférera l'interpolateur au prédicteur (courbe 1) ; cette conclusion a été établie :

- pour le signal équiréparti sans mémoire
- pour le signal gaussien sans mémoire

Dans l'étude des signaux réels, nous montrerons le caractère général de cette conclusion.

3.153 - INFLUENCE D'UNE TENDANCE CENTRALE

Le signal gaussien a une distribution continue sur $]-\infty, +\infty[$; dans la pratique, sa dynamique est limitée :

$N = 4\sigma$ intervalle de confiance de 95 %

$N = 6\sigma$ intervalle de confiance de 99,7 %

Dans les deux cas, nous avons calculé les taux de compression en fonction de la tolérance (courbes 2 et 3). La comparaison avec les résultats obtenus sur le signal équiréparti montre(Tableau VIII) que :

- l'influence de la tendance centrale est négligeable pour des tolérances faibles ($\Delta < 5\%$)
- elle est beaucoup plus marquée dans le cas de l'interpolation
- elle croît très vite avec la tolérance.

	DISTRIBUTION UNIFORME	DISTRIBUTION GAUSSIENNE
Prédicteur	$\mathcal{T}_c \simeq 1 + 2\,\frac{\Delta}{N} + 3\,\frac{\Delta^2}{N^2}$	$\mathcal{T}_c \simeq 1 + 2{,}5\,\frac{\Delta}{N} + 6\,\frac{\Delta^2}{N^2}$
Interpolateur	$\mathcal{T}_c \simeq 1 + 4\,\frac{\Delta}{N} + 10\,\frac{\Delta^2}{N^2}$	$\mathcal{T}_c \simeq 1 + 5\,\frac{\Delta}{N} + 19\,\frac{\Delta^2}{N^2}$

Tableau VIII - COMPARAISON DE L'EXPRESSION LIMITEE AU DEUXIEME ORDRE DES TAUX DE COMPRESSION. LE SIGNAL GAUSSIEN A UNE DYNAMIQUE $N = 5\sigma$

L'ensemble de ces conclusions est encore favorable à l'interpolateur, bien que l'influence d'une tendance centrale ne soit pas déterminante.

3.154 - INFLUENCE D'UN EFFET DE MEMOIRE

La courbe 4 donnant le taux de compression en fonction de la probabilité de non transition p, met en évidence l'influence considérable de la mémoire sur les possibilités de compression d'une promenade aléatoire simple ; la variation est de type hyperbolique, et croît très rapidement avec p. Il semble que ce résultat soit applicable à des sources réelles fortement sur-échantillonnées.

Lorsqu'une promenade aléatoire symétrique est limitée par deux barrières réfléchissantes, la probabilité d'occuper un niveau tend vers une constante égale pour tous les niveaux ; il est donc possible de comparer les résultats obtenus
- avec un signal équiréparti sans mémoire
- avec une promenade aléatoire généralisée.

La courbe 5 montre que le gain en taux de compression est très élevé : pour $\frac{\Delta}{\sigma} = 1$, représentant une corrélation assez faible, le taux est plus que doublé.

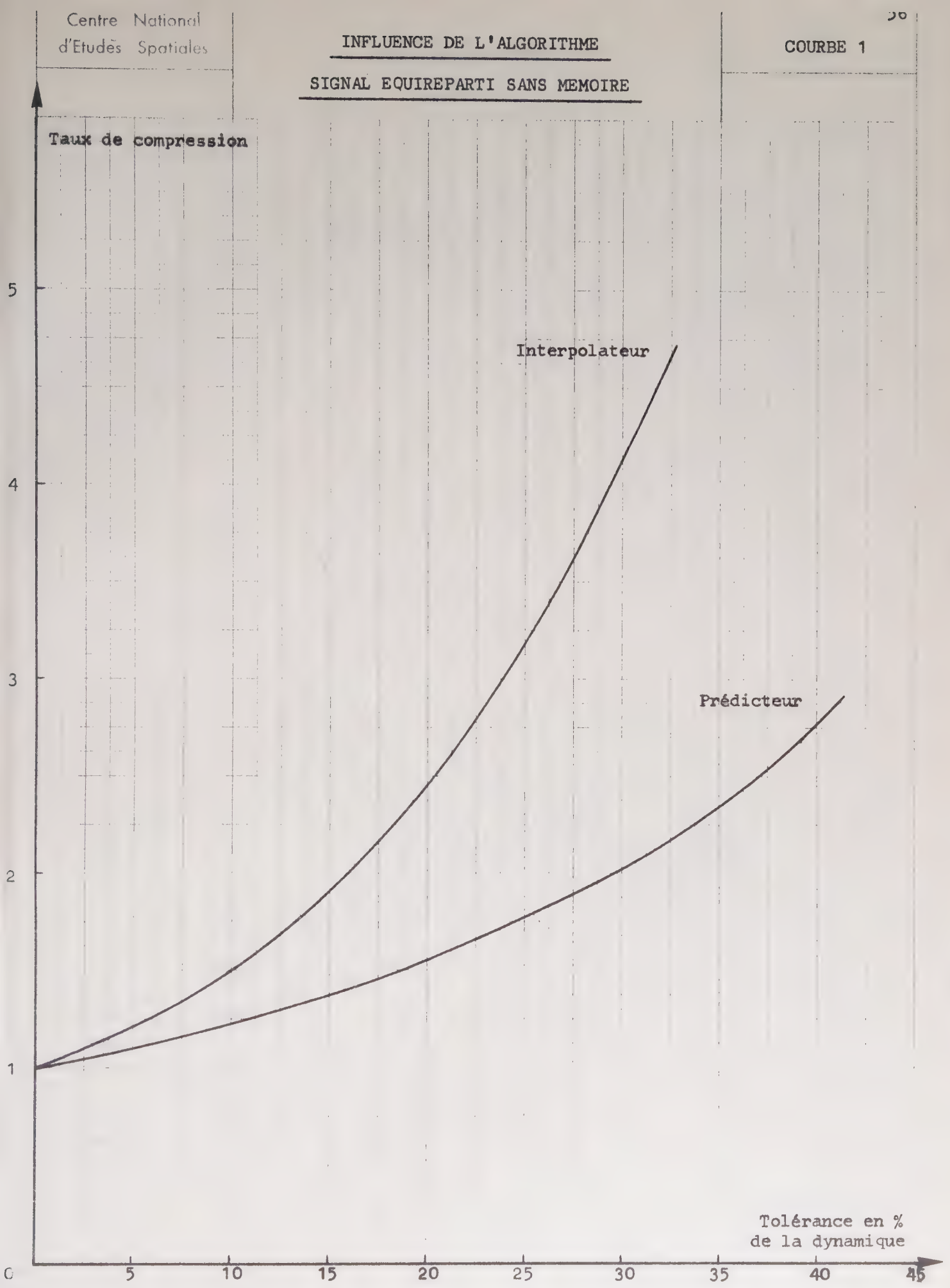
Ce résultat peut être directement appliqué aux signaux réels si l'on connait l'écart type de la distribution des écarts.

Centre National d'Etudes Spatiales

INFLUENCE DE L'ALGORITHME

SIGNAL EQUIREPARTI SANS MEMOIRE

COURBE 1

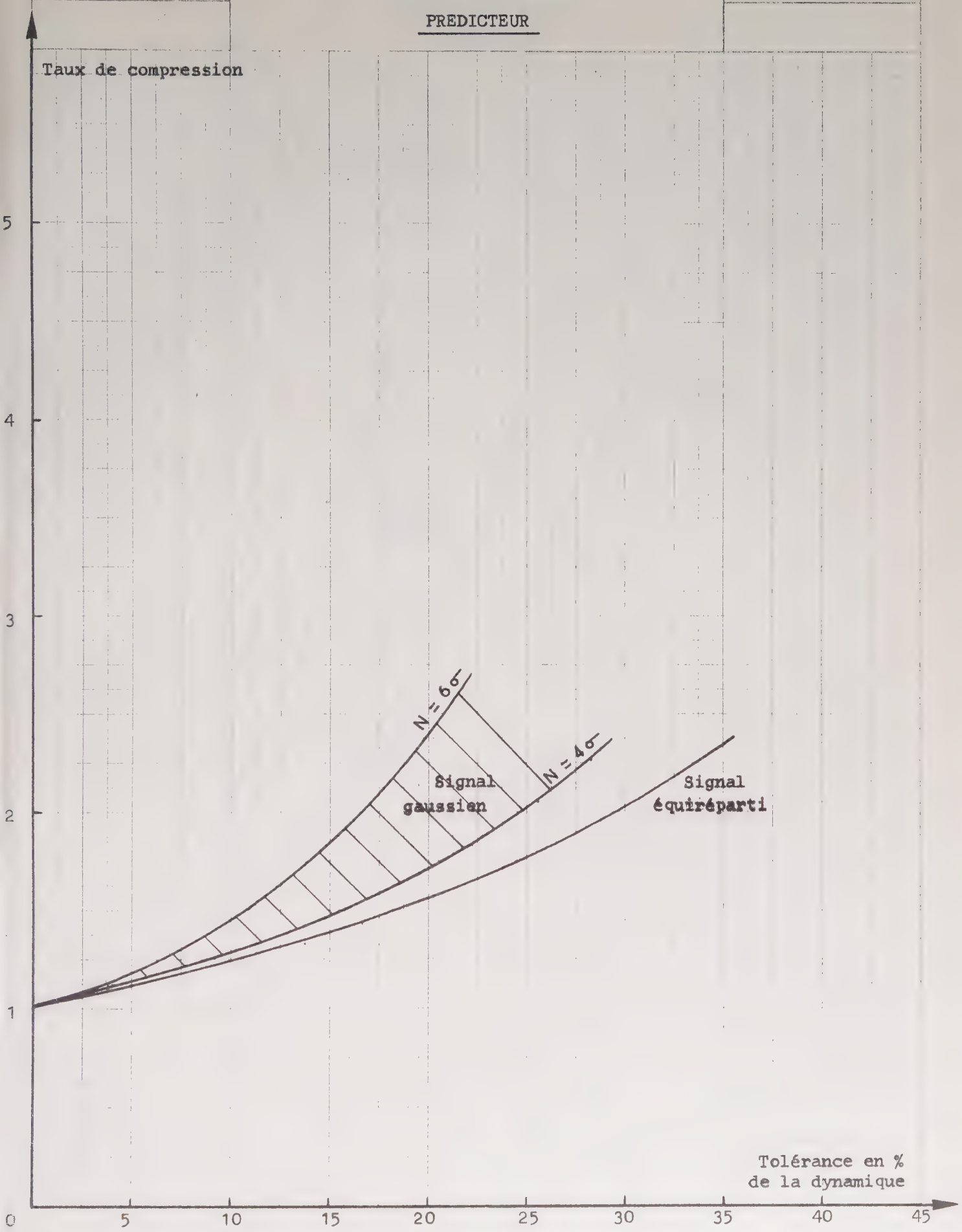


Centre National d'Etudes Spatiales

TENDANCE CENTRALE

PREDICTEUR

COURBE 2

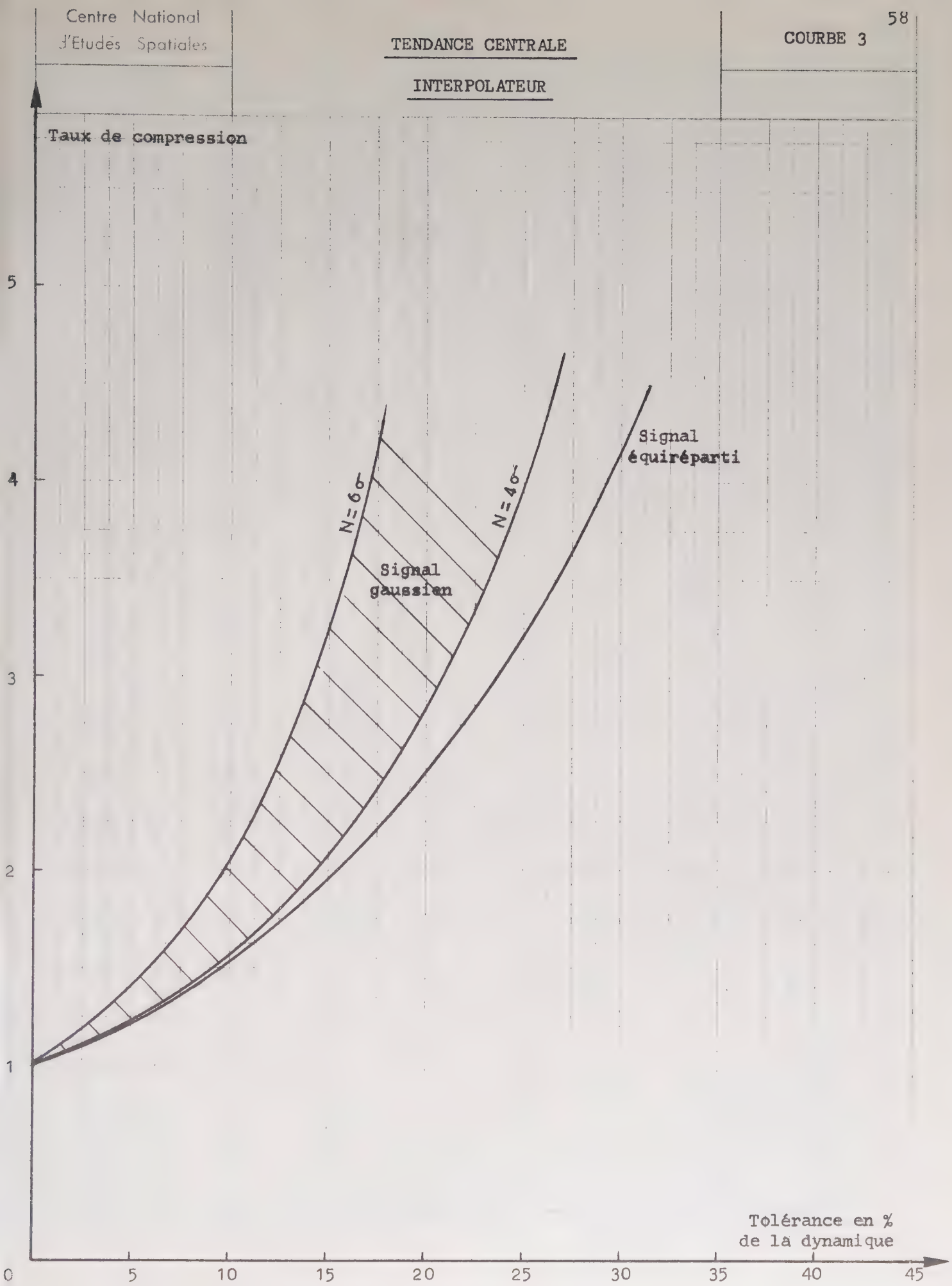


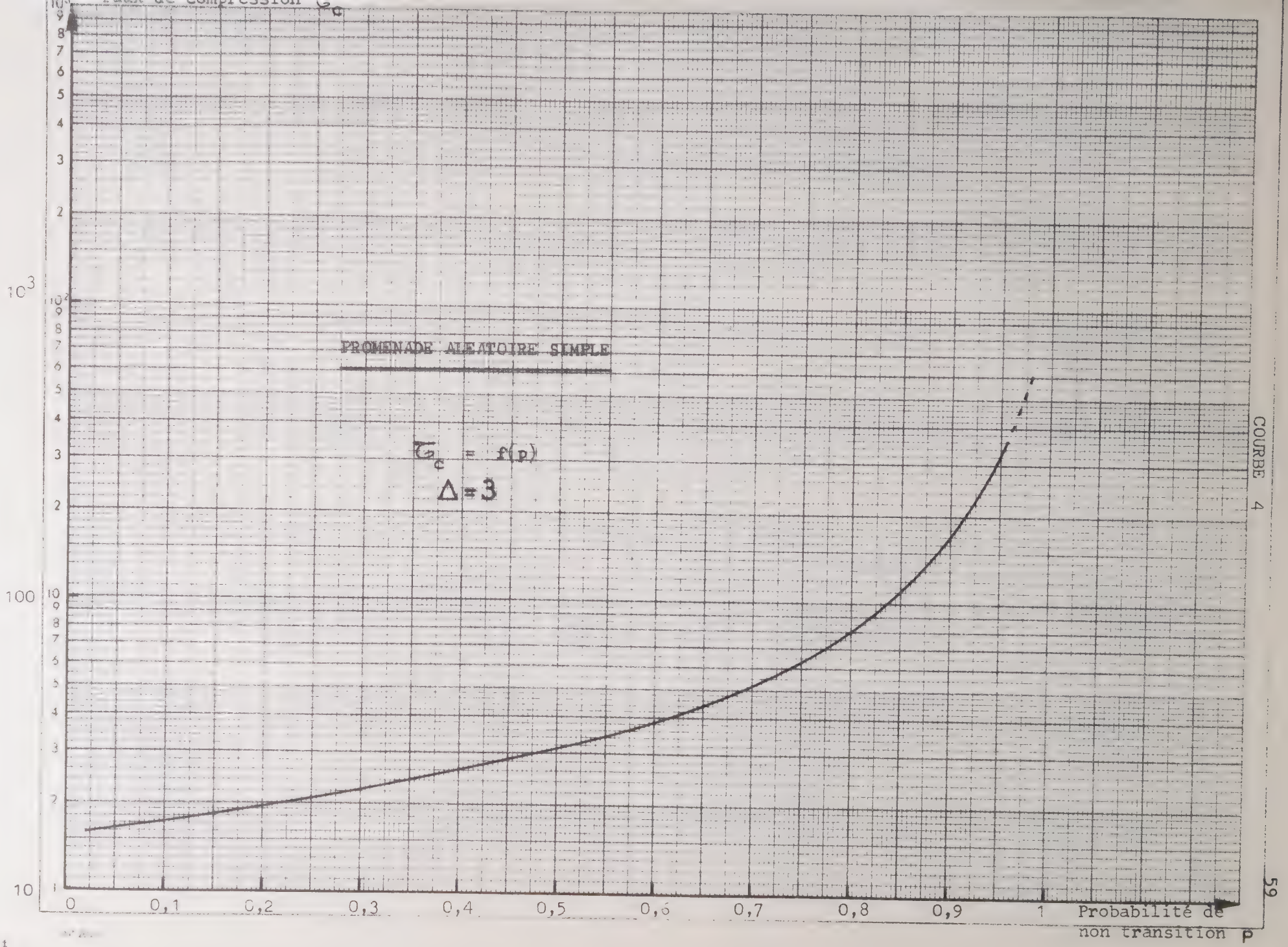
Centre National
J'Etudes Spatiales

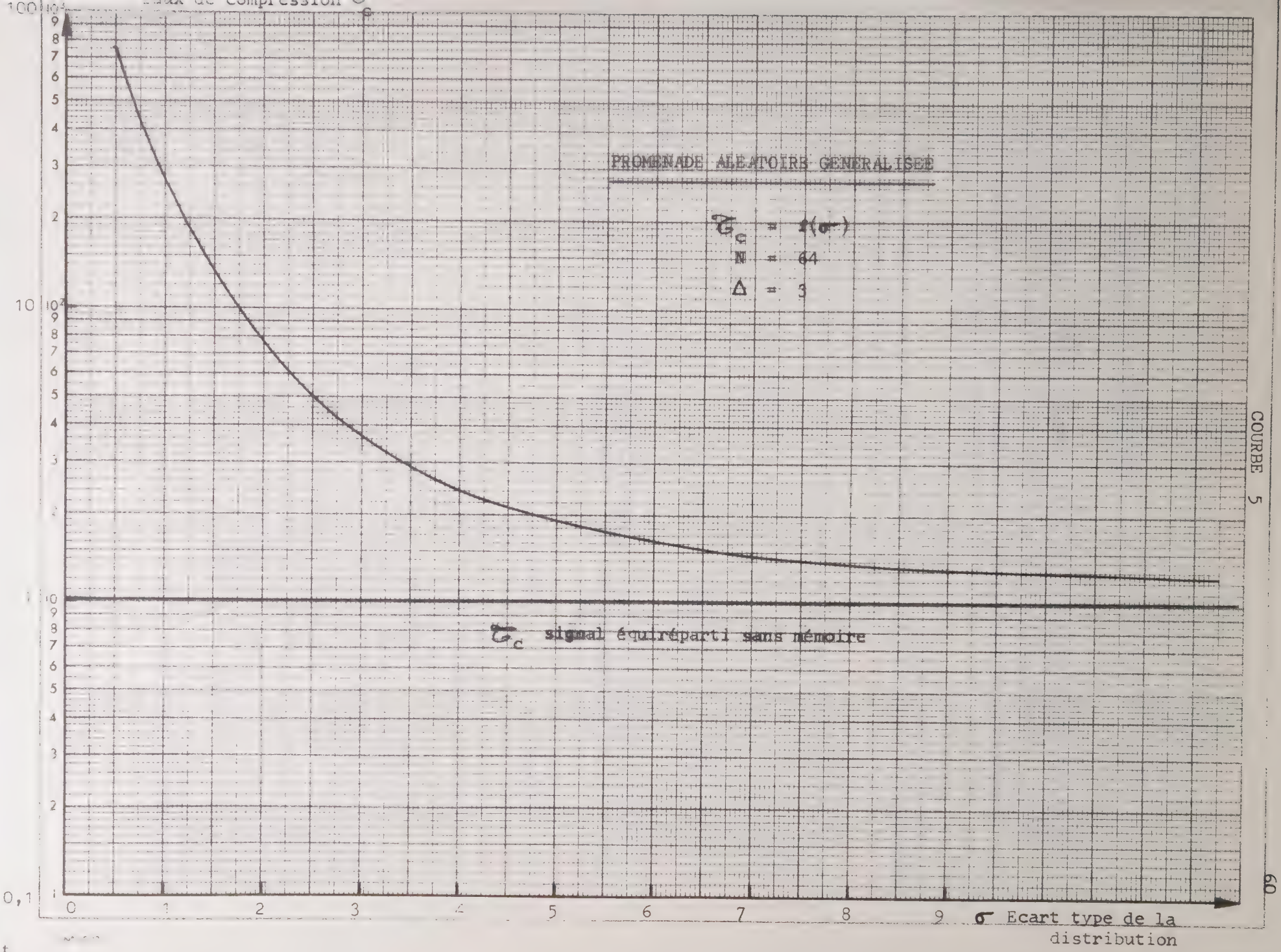
TENDANCE CENTRALE

INTERPOLATEUR

COURBE 3




Facteur de compression τ_c
10^3
100
10
PROMENADE ALEATOIRE SIMPLE
$\tau_c = f(p)$
$\Delta = 3$
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
Probabilité de non transition p
COURBE 4


Taux de compression τ_c
PROMENADE ALEATOIRE GENERALISEE
$\tau_c = f(\sigma)$
N = 64
Δ = 3
τ_c signal équiréparti sans mémoire
100
10
0,1
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
σ Ecart type de la distribution
COURBE 5
60

3.2 - LA RESTITUTION

3.21 - LES METHODES DE RESTITUTION

On appelle restitution la reconstruction du signal original d'après les informations transmises. Elle n'est pas toujours obligatoire : il est intéressant de profiter au maximum de la suppression des redondances pour alléger les traitements ultérieurs.

Si l'on a besoin du signal échantillonné de façon régulière, une "décompression" doit être appliquée au signal (Fig. 20).

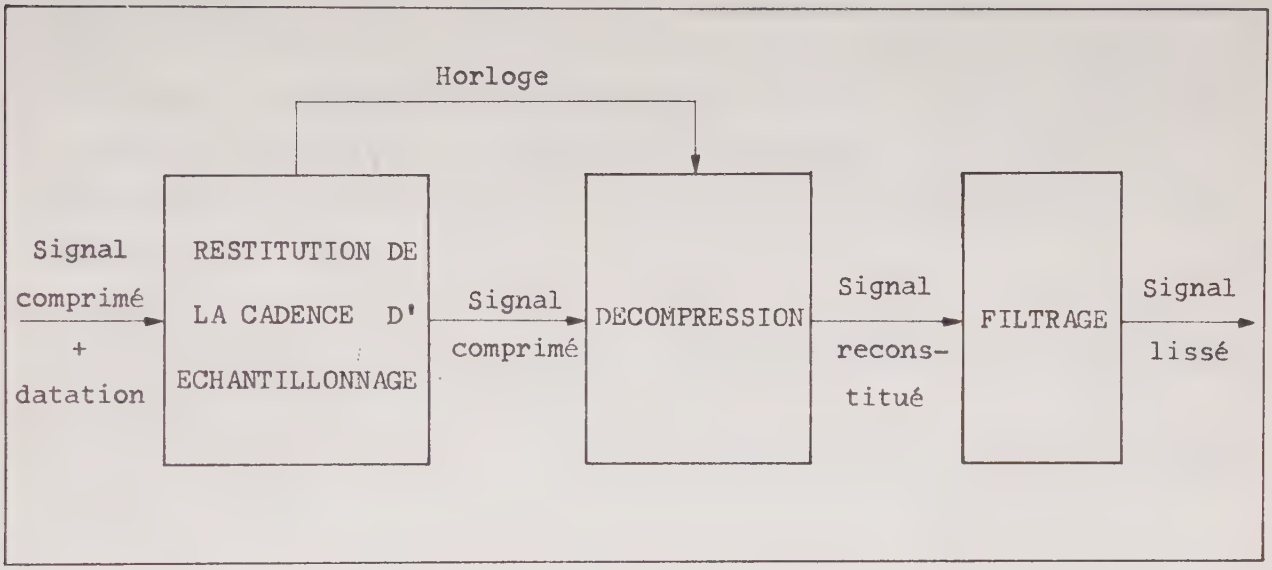


Figure 20 - CHAINE DE RESTITUTION

L'exposé des méthodes de compression a montré que l'on tolérait une petite perte d'information, liée à la tolérance de l'algorithme. La transformation inverse, ou décompression, n'est donc pas exacte : toute information est entachée d'une erreur inférieure ou égale à la tolérance ($\pm \Delta$).

La qualité de la restitution peut être évaluée par calcul de l'écart quadratique moyen (§ 3.22).

Le principe de la décompression est simple :

- le premier organe est chargé de recréer une cadence d'échantillonnage constante à partir des informations de datation ;
- le deuxième organe constate la présence ou l'absence, à chaque pas de

l'horloge, de point transmis ; s'il n'y a pas de redondance, le point réel est transmis et mémorisé ; dans le cas contraire, un algorithme d'interpolation ou de prédiction permet de recréer le point manquant ; il est identique à l'algorithme de compression. Ainsi pour un prédicteur d'ordre zéro, chaque point manquant est remplacé par le point précédent ; pour un interpolateur d'ordre zéro, par le point suivant.

Le signal ainsi reconstitué satisfait aux exigences :

- erreur maximale inférieure à la tolérance ;
- erreur quadratique moyenne donnée (§ 3.22).

La chaîne compression / transmission / décompression s'arrête là. Toutefois, des améliorations importantes peuvent être apportées par filtrage. En effet, la tendance générale des données peut être utilisée pour repositionner chaque point à l'intérieur de son domaine de variation. Ce problème sort du cadre de cette étude ; nous pouvons néanmoins citer deux méthodes :

- Filtrage idéal corrigé : le signal est sous-échantillonné à une fréquence liée aux "trous" de télémesure (27).
- Interpolation pondérée : le signal est approché sur un intervalle donné par une fonction donnée ; à chaque échantillon est associé un poids : fort si le point est réel, faible s'il est reconstruit.

3.22 - CALCUL DE L'ERREUR DE RESTITUTION

Lorsque la tolérance $\pm\Delta$ est suffisamment petite devant la dynamique N, la distribution de l'erreur à l'intérieur de l'intervalle $[+\Delta, -\Delta]$ peut être considéré comme aléatoire et uniforme.

PREDICTEUR :

$$E(e) = \frac{1}{\tau_c} \cdot 0 + \left(1 - \frac{1}{\tau_c}\right) \cdot \sum_{j=-\Delta}^{+\Delta} j \cdot \frac{1}{2\Delta + 1}$$

$$\boxed{E(e) = 0}$$

$$E(e^2) = \frac{1}{\tau_c} \cdot 0 + \left(1 - \frac{1}{\tau_c}\right) \cdot \sum_{j=-\Delta}^{+\Delta} j^2 \frac{1}{2\Delta + 1}$$

$$E(e^2) = \left(1 - \frac{1}{\tau_c}\right) \frac{\Delta(\Delta + 1)}{3}$$

$$\boxed{\sigma_{PRED} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} \sqrt{1 - \frac{1}{\tau_c}}}$$

INTERPOLATEUR

$$E(e) = \sum_{j=-\Delta}^{+\Delta} \cdot j \frac{1}{2\Delta + 1}$$

$$\boxed{E(e) = 0}$$

$$E(e^2) = \sum_{j=-\Delta}^{+\Delta} \cdot j^2 \frac{1}{2\Delta + 1}$$

$$\boxed{\sigma_{INTP} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}}$$

Le tableau IX permet de comparer les erreurs quadratiques moyennes pour un taux de compression donné.

Du fait de sa plus grande efficacité, l'interpolateur provoque des distorsions moindres. Pour une tolérance Δ donnée, les erreurs sont sensiblement identiques pour des taux de compression aisément atteints dans la réalité (4 à 5).

τ_c TAUX DE COMPRESSION	2	3	4	5	6
$\frac{\sigma_{INTP}}{\sigma_{PRED}}$	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7

Tableau IX - COMPARAISON DES ERREURS QUADRATIQUES MOYENNES

3.3 - CONCLUSION PARTIELLE

L'analyse mathématique de l'influence de la compression sur quelques modèles de données a permis de mettre en évidence :

- la supériorité de l'interpolateur sur le prédicteur, à qualité de restitution donnée ;

- l'influence prépondérante de la mémoire de processus.

Dans le cas d'une promenade aléatoire généralisée, les résultats obtenus semblent applicables directement pour l'évaluation du taux de compression sur des sources réelles. Les possibilités de l'analyse sont limitées : une généralisation du modèle de données (processus markovien du $n^{ième}$ ordre) conduirait à des calculs inextricables : l'analyse statistique d'un phénomène est difficilement compatible avec l'étude de ses petites variations, qui détermine les possibilités de compression.

A ce stade de l'étude, nous avons pu choisir des algorithmes et les comparer. La réalisation d'un dispositif de compression permettra, par l'expérience, de vérifier ou de modifier ces choix.

CHAPITRE 4

REALISATION DU SYSTEME D'ACQUISITION

4.1 - PRINCIPES GENERAUX

4.11 - ORGANISATION DU CENTRE DE TRAITEMENT DES TELEMESURES

Le CENTRE DE TRAITEMENT DES TELEMESURES du C.N.E.S. est chargé de transformer les informations analogiques et numériques fournies par les satellites, fusées, ballons, etc ... en informations exploitables par le Centre de Calcul. Il dispose à cet effet de plusieurs chaînes d'acquisition (PCM, FM, PAM, PDM, PFM) et d'un ordinateur industriel, l'IBM 1800 (Fig. 21).

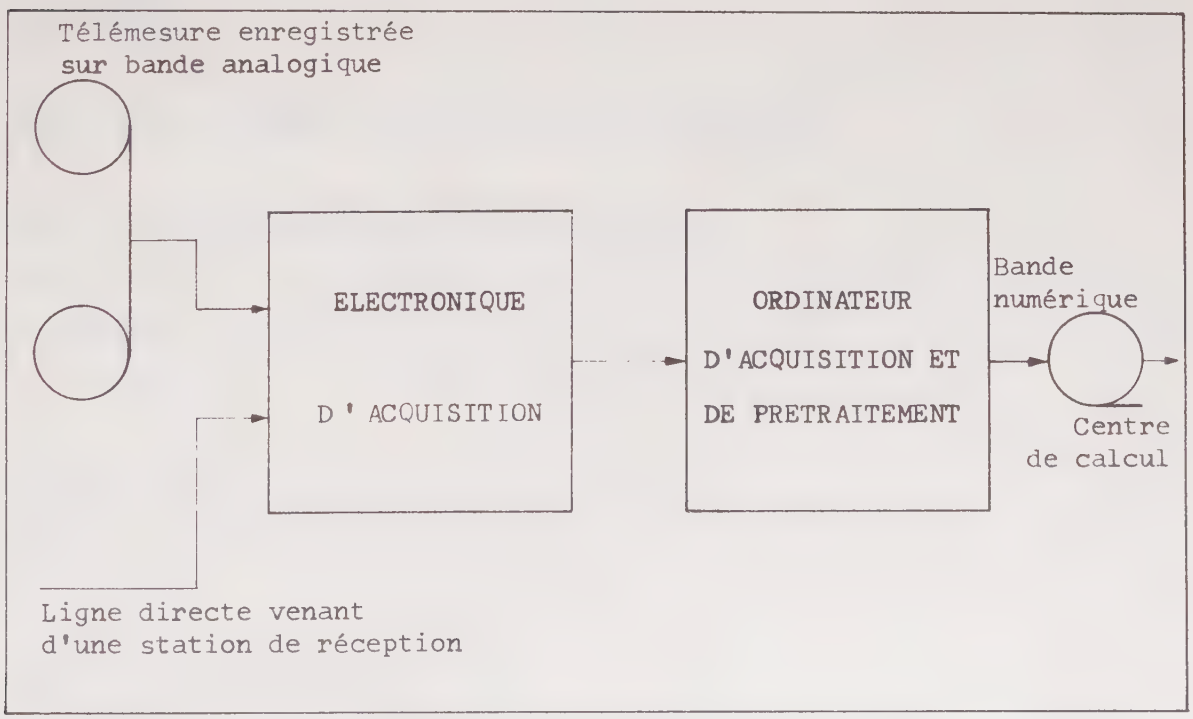


Figure 21 - ORGANISATION DES CHAINES D'ACQUISITION

4.12 - LA COMPRESSION DE DONNEES

La compression de données a été retenue pour :

- améliorer les performances en cadence ;
- diminuer le volume des supports utilisés.

L'introduction de ce nouvel organe dans une chaîne d'acquisition complexe impose un certain nombre de contraintes ; le compresseur devra :

- fonctionner en temps réel, c'est-à-dire être esclave de la télémesure ;
- être capable de traiter les signaux complexes, où un grand nombre de voies peuvent être multiplexées ;
- offrir un choix d'algorithmes suffisant, avec possibilité d'extension ;
- dater les informations non redondantes et assurer leur transmission vers un organe de stockage.

Les problèmes de compatibilité avec l'électronique d'acquisition et l'ordinateur IBM 1800 sont essentiels ; aussi débuterons-nous l'étude par une description du contexte.

4.2 - LE CONTEXTE

4.21 - LES EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES D'ACQUISITION

4.211 - LES DEROULEURS DE BANDE MAGNETIQUE

Dans les stations de réception, les télémesures sont enregistrées sur bande analogique ; elles sont mélangées à des signaux de référence ; parallèlement, le temps universel ou le temps local est également enregistré.

Les dérouleurs de bande magnétique (Fig. 22) permettent de lire ces bandes, en direct ou en FM suivant le type d'enregistrement.

4.212 - LES SYNCHRONISATEURS PCM

Les signaux transmis par Modulation d'Impultion et Codage, sont déjà sous forme numérique. A partir des signaux bruités issus de la bande, le synchronisateur primaire restitue le rythme digital et effectue par corréla-

tion la décision de bit.

Le synchronisateur secondaire, connaissant les caractéristiques du format PCM, contrôle l'apparition régulière des mots de synchronisation et fait la conversion parallèle-série ; à la sortie de cet appareil, différents signaux sont disponibles (Fig. 23) :

- informations sur 16 bits ;
- signaux de synchronisation : . de mots
  . de cycles
  . de sous-cycles
- informations sur la qualité de l'information.

4.213 - LE CONVERTISSEUR ANALOGIQUE - NUMERIQUE

Les télémesures FM sont démultiplexées, puis la variation de fréquence est traduite en variation de tension ; les voies continues sont alors échantillonnées l'une après l'autre et quantifiées par le numériseur FM (Fig. 24). La cadence d'échantillonnage et les voies à traiter sont choisies par l'opérateur. En sortie, les signaux suivants sont disponibles :

- mots d'information de 11 bits ;
- signaux de synchronisation : . de mots
  . de cycles (passages périodiques par la voie 0)

4.214 - LE QUATANT

Le quatant sert à synchroniser et quantifier les télémesures PAM, PDM, et PFM ; il n'est pas connecté au compresseur de données.

4.215 - LA BASE DE TEMPS

Le temps, lu sur la bande parallèlement aux informations, sert à piloter une première horloge appelée base de temps restitué ; celle-ci contrôle une seconde horloge, la base de temps local, capable de fonctionner en volant si l'enregistrement de la piste temps est défaillant (Fig. 25).

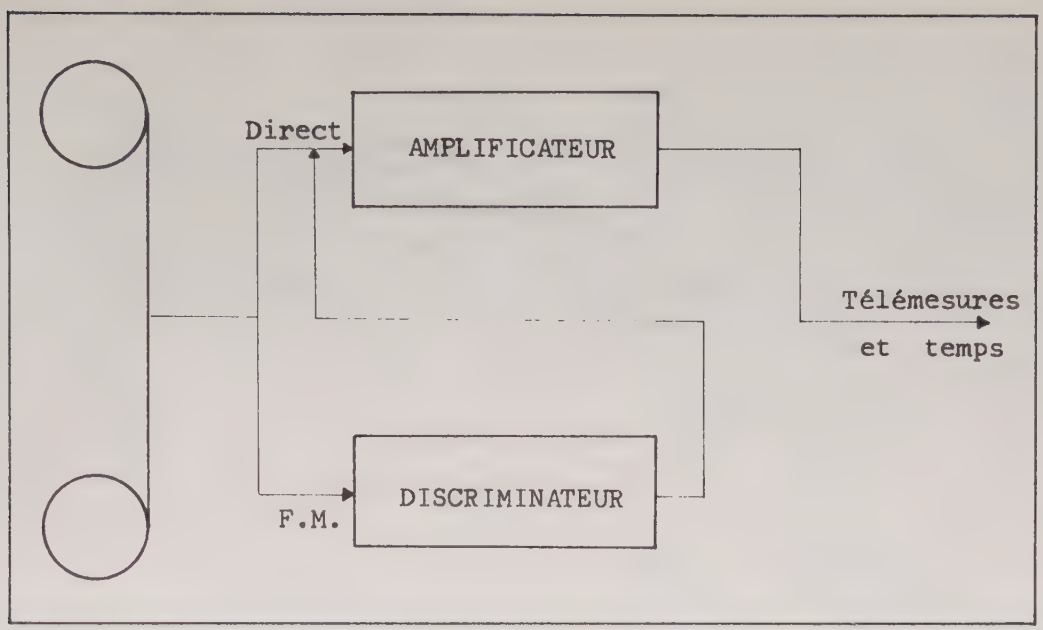


Figure 22 - DEROULEUR DE BANDE

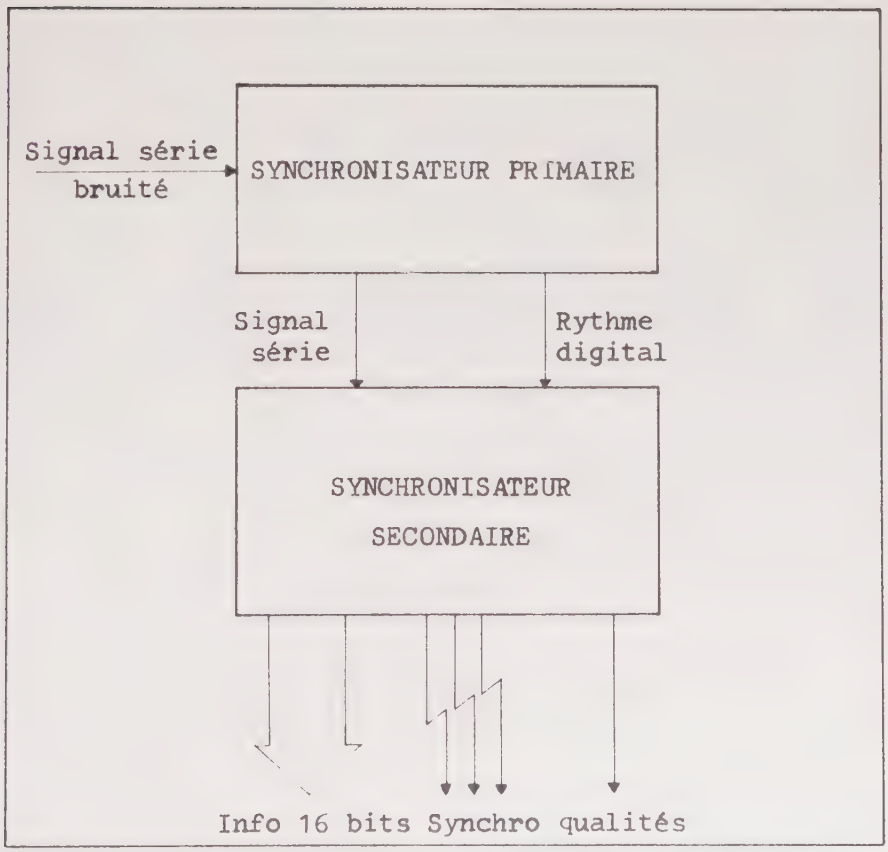


Figure 23 - TRAITEMENT DES SIGNAUX PCM

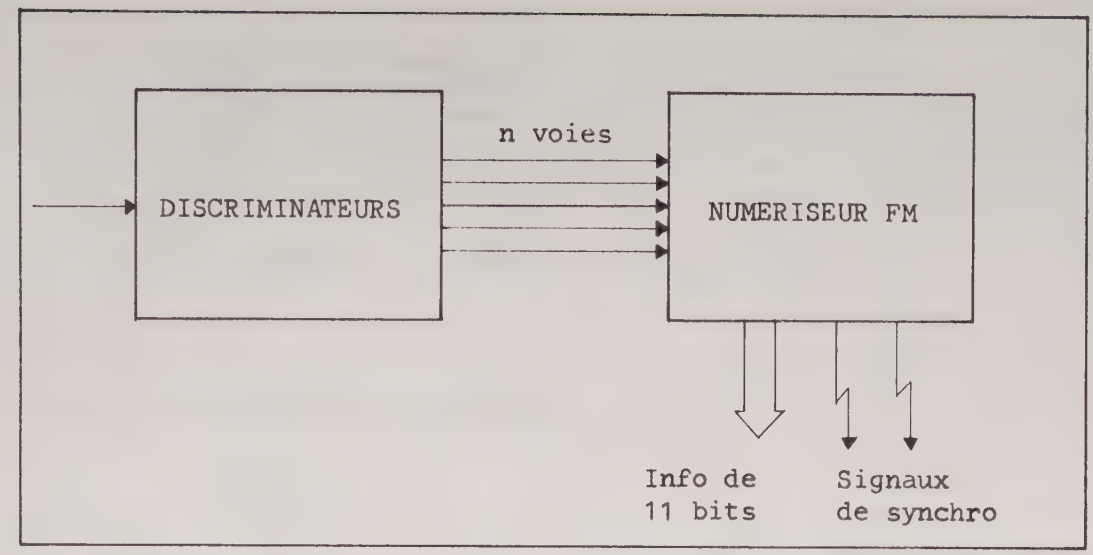


Figure 24 - TRAITEMENT DES TELEMESURES FM

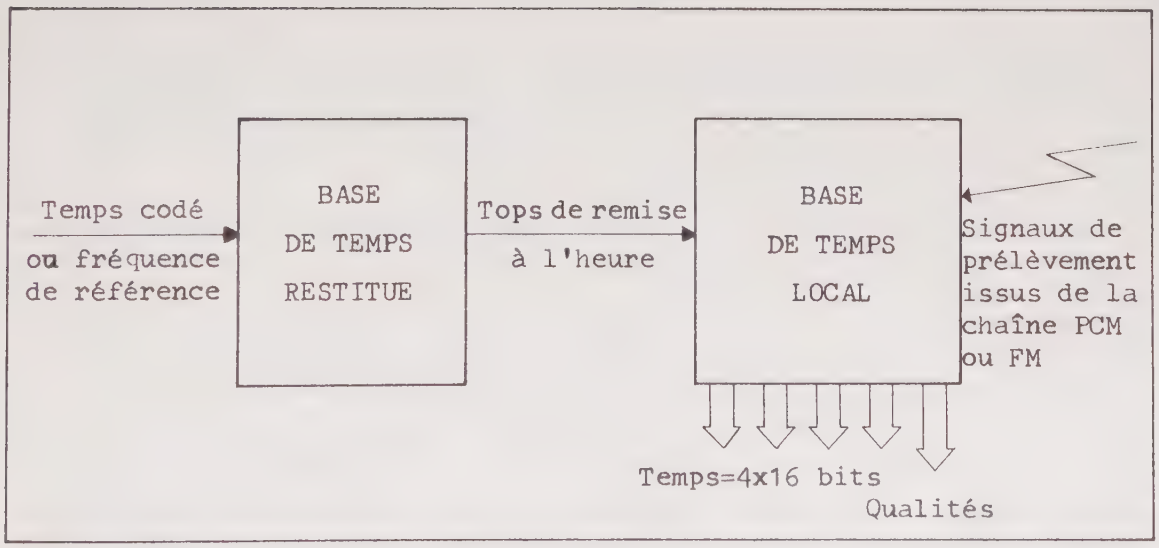


Figure 25 - ENSEMBLE DE BASE DE TEMPS

4.216 - LA CONSOLE DE COMMANDE

Elle comprend principalement :

- un clavier de télécommande des dérouleurs de bande ;
- des clés pour la programmation manuelle des modules électroniques ;
- des touches pour l'envoi d'interruptions vers l'IBM 1800.

Elle sert à commander et contrôler les acquisitions.

4.22 - L'ORDINATEUR D'ACQUISITION

4.221 - LE "HARDWARE"

L'ordinateur IBM 1800 est spécialisé dans la conduite de processus et l'acquisition de données. La capacité de sa mémoire centrale est de 48 K mots de 16 bits, avec un cycle de base de 2,25 μs.

L'accès à la mémoire est contrôlé par un multiplexeur à 16 entrées :

- une pour l'unité centrale ;
- quinze pour les canaux à vol de cycle.

Cette machine se caractérise donc par la puissance de ses entrées / sorties rapides (maximum de 440 k mots / s).

Les canaux à vol de cycle sont affectés :

- soit aux périphériques classiques,
- soit aux entrées / sorties industrielles.

Le système interruptif de l'unité centrale permet de reconnaître 24 niveaux d'interruptions hiérarchisés. A chaque niveau peuvent être affectées :

- des interruptions d'entrées / sorties, générées par la logique des canaux dans certaines conditions (fin de travail, erreur de parité, etc...)
- des interruptions externes (16 par niveau) générées par des impulsions envoyées sur des borniers situés à l'arrière de l'ordinateur

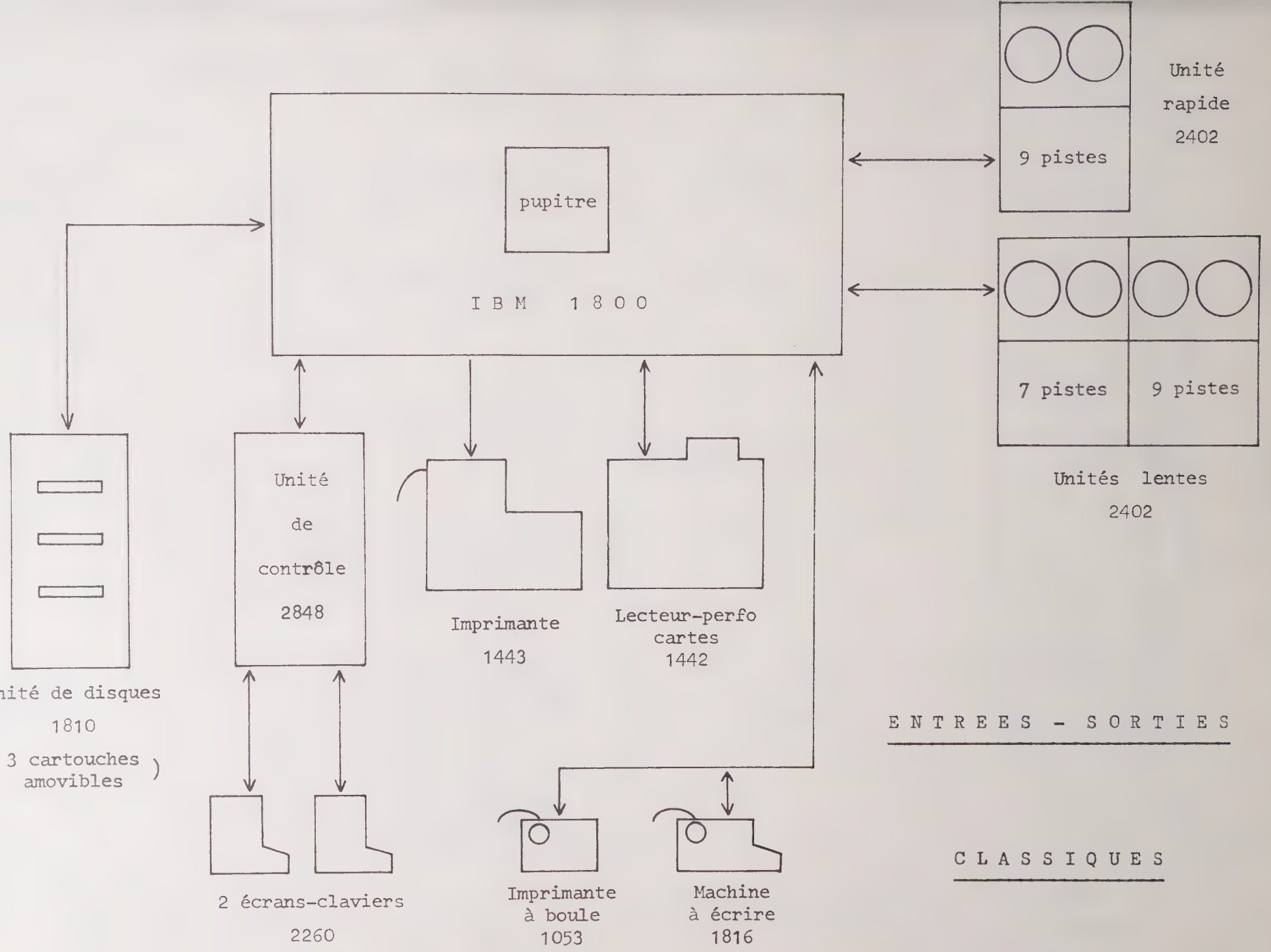

pupitre
IBM 1800
Unité rapide 2402
9 pistes
7 pistes
9 pistes
Unités lentes 2402
Unité de disques 1810 (3 cartouches amovibles)
Unité de contrôle 2848
Imprimante 1443
Lecteur-perfo cartes 1442
2 écrans-claviers 2260
Imprimante à boule 1053
Machine à écrire 1816
ENTREES - SORTIES
CLASSIQUES

Figure 26

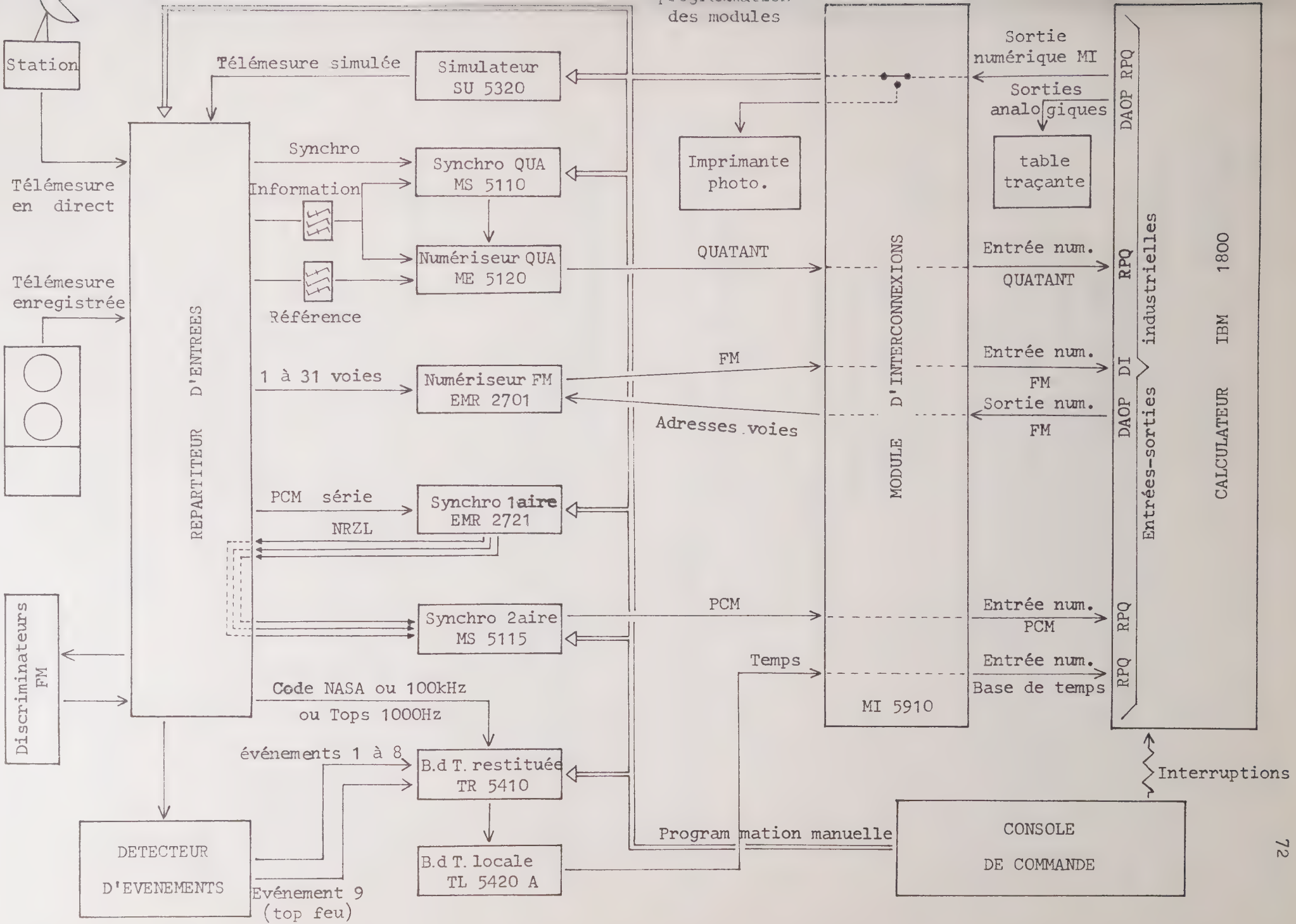

Station
Télémesure simulée
Simulateur SU 5320
Sortie numérique MI
Sorties analogiques
Synchro
Synchro QUA MS 5110
Imprimante photo.
table traçante
Télémesure en direct
Information
Numériseur QUA ME 5120
QUATANT
Entrée num. QUATANT
Télémesure enregistrée
Référence
REPARTITEUR D'ENTREES
1 à 31 voies
Numériseur FM EMR 2701
FM
Entrée num. FM
Sortie num. FM
Adresses voies
MODULE D'INTERCONNEXIONS
PCM série
NRZL
Synchro 1aire EMR 2721
Discriminateurs FM
Synchro 2aire MS 5115
PCM
Entrée num. PCM
Temps
Entrée num. Base de temps
MI 5910
Code NASA ou 100kHz
ou Tops 1000Hz
événements 1 à 8
B.d T. restituée TR 5410
DAOP RPQ
DAOP RPQ
DAOP DI
RPQ RPQ
Entrées-sorties industrielles
CALCULATEUR IBM 1800
Interruptions
DETECTEUR D'EVENEMENTS
Evénement 9 (top feu)
B.d T. locale TL 5420 A
Program mation manuelle
CONSOLE DE COMMANDE

Figure 27

CONFIGURATION (voir Fig. 26 et 27)

- Périphériques classiques :
  - . Unité à trois disques 1810, capacité 1536000 mots de 16 bits
  - . Lecteur-perforateur de cartes 1442
  - . Machines à écrire 1816 et 1053
  - . Imprimante 600 lignes/mn 1403
  - . 2 unités de bandes 2402 (7 et 9 pistes) débit 30 k octets / s
  - . 1 unité de bandes rapide, 90 k octets / s

- Entrées / sorties industrielles :
  - . Deux canaux de sortie
  - . Quatre canaux d'entrée
  - . Quarante-huit interruptions externes.

4.222 - LE SYSTEME D'EXPLOITATION MPX

Le système MPX est un système de multiprogrammation spécialisé dans le temps réel.

a) Partage de la mémoire (Fig. 28)

Les fonctions principales du système sont toujours en mémoire et forment le "résident". Le reste de la mémoire est découpé en partitions à frontières fixes. La partition zéro a un rôle particulier ; elle est appelée zone variable.

Résident : Il se compose :

- . du superviseur d'interruptions ; celui-ci gère les interruptions externes, programmées, d'entrées/sorties, l'enchaînement des travaux, leur mise en file d'attente et les horloges internes ;
- . du programme de détection d'erreurs ; édition de messages, annulation de travaux ou essai de reprise ;
- . des sous-programmes système souvent utilisés : E/S, conversions, etc ... ;
- . de sous-programmes utilisateurs ;
- . d'une zone de communication entre partitions (COMMON INSKEL)

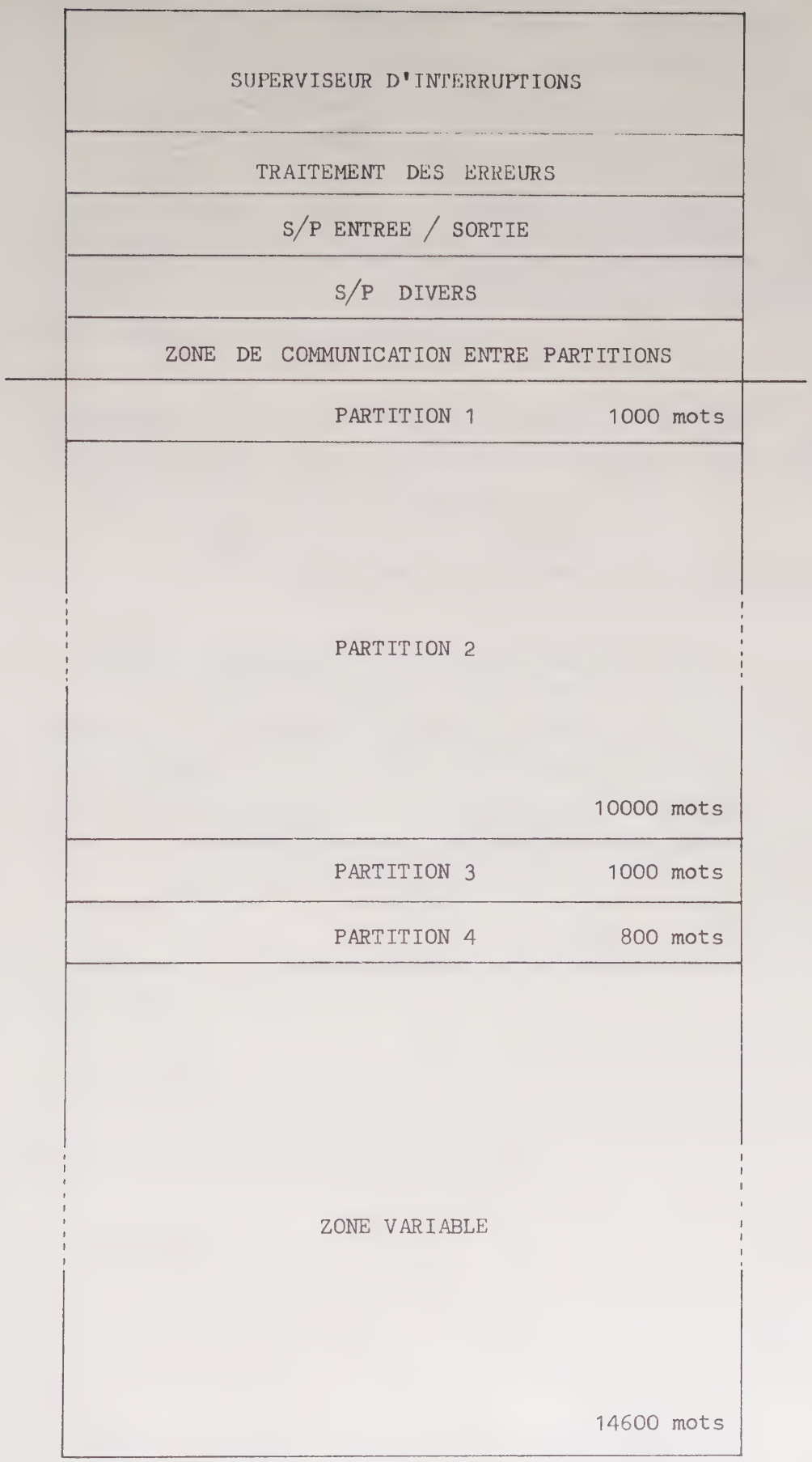


Figure 28 - CONFIGURATION DE LA MEMOIRE

Partitions : Dans les partitions peuvent être chargés :

- soit des programmes s'exécutant séquentiellement,
- soit des sous-programmes d'interruption : leur exécution est déclenchée par le superviseur, lors de la reconnaissance d'interruptions.

Sauf disposition contraire, l'exécution des programmes et sous-programmes est suspendue pendant les entrées/sorties ; des programmes moins prioritaires ont alors accès à l'unité centrale : c'est sur cette possibilité qu'est fondée la multiprogrammation.

Zone variable : Elle est attribué normalement au moniteur de "Batch processing" contrôlant les assemblages, compilations, mises au point, etc... Ces travaux peuvent être interrompus :

- par des programmes de processus,
- par des programmes appelés sur interruption (CMI).

b) Activation des tâches dans les diverses zones (Tableau X)

Il existe une file d'attente de travaux par partition, sauf pour la zone variable. Les programmes à exécution séquentielle (à l'exclusion des sous-programmes d'interruption) peuvent être mis en file d'attente :

- soit par un autre programme en cours d'exécution,
- soit par le superviseur, sur reconnaissance d'interruptions,
- soit par cartes de contrôle.

Dans chaque file d'attente, un système de priorités permet de réorganiser à tout moment la file.

Les sous-programmes d'interruption sont en fait des extensions du résident ; ils sont chargés à l'avance et restent à l'état dormant tant que des interruptions externes ou programmées ne viennent pas les activer.

Enfin, des programmes à exécution séquentielle peuvent être activés sans mise en file d'attente : sur reconnaissance d'interruptions, le superviseur sauvegarde sur disque la zone variable, provoque l'exécution du programme d'interruption (CMI), puis rétablit la zone variable.

Tous les renseignements nécessaires au bon fonctionnement du système sont donnés au moment de la construction du programme : le programme en image-mémoire est stocké sur disque avec un fichier indiquant essentiel-

TYPE DE CHARGE MEMOIRE	TEMPS DE REPONSE AUX INTERRUPTIONS	APPLICATION
Sous-programme résident	310 μs	Sous-programme universel fréquemment utilisé peu encombrant nécessitant une réponse rapide
Sous-programmes d'interruption en partition	350 μs	Sous-programmes nécessitant une réponse rapide peu encombrants ayant une utilisation spécifique, mais fréquente et relativement longue (~ heure)
Programme d'interruption en zone variable	~ 100 ms	Programme nécessitant une réponse assez rapide pouvant être encombrant fréquence d'exécution peu élevée durée d'exécution faible (~ min)
Programme mis en file d'attente automatiquement Partition		Programme nécessitant une réponse peu rapide pouvant être encombrant durée d'exécution longue

Tableau X - POSSIBILITES DU SYSTEME MPX

lement :

- son nom,
- la partition pour laquelle il a été construit,
- la priorité de la file d'attente,
- son niveau d'exécution (0 à 24),
- l'interruption qui doit provoquer son chargement s'il s'agit d'un programme d'interruption,
- les interruptions traitées s'il s'agit d'un ensemble de sous-programmes d'interruption.

4.23 - FONCTIONNEMENT DE LA CHAINE

4.231 - LES ENTREES / SORTIES INDUSTRIELLES

Deux canaux de sortie sont utilisés pour l'envoi d'informations vers la chaîne d'acquisition. Le premier est utilisé pour la programmation des modules électroniques, ou pour l'envoi de données vers le simulateur de télémesures ; le second est spécialisé dans l'envoi d'adresses de voie vers le convertisseur analogique numérique.

Quatre canaux d'entrée permettent d'acheminer vers l'ordinateur les informations PCM, FM, QUA, et le temps.

La console de commande peut générer huit interruptions :

- Départ acquisition 1 et 2
- Arrêt temporaire 1 et 2
- Arrêt définitif 1 et 2
- Marque de bande 1 et 2

4.232 - ATTRIBUTION DES RESSOURCES

Le "software" est prévu pour supporter deux acquisitions simultanées :

- La partition 1 et l'unité de bande rapide sont réservées à l'acquisition 1. Des modifications ont été apportées au système pour que la reconnaissance d'interruption soit très rapide ($\sim 20\ \mu s$) ; (28)et (29).
- La partition 2 et l'unité de bande lente sont réservées à l'acquisition 2, moins performante.

4.233 - FONCTIONNEMENT DU SYSTEME

La mise en œuvre des programmes est faite par l'intermédiaire des unités à écran et clavier 2260. Une pression sur la touche "ENTREE" provoque le chargement en mémoire d'un programme d'interruption appelé moniteur d'écran ; ce moniteur demande le nom du programme à exécuter et le met en file d'attente.

Il peut également :

- générer des interruptions programmées,
- provoquer l'arrêt d'une tâche,
- charger en partition un ensemble de sous-programmes d'interruption.

Une acquisition nécessite l'utilisation de modules électroniques complexes. Dans la phase de préparation, un programme conversationnel permet de construire les ordres à envoyer à ces modules, et les stocke sur disque.

Dans la phase d'initialisation, les ordres sont envoyés vers les équipements par le canal de programmation ; les sous-programmes de traitement des interruptions d'acquisition sont chargés en partition ; un message avertit l'opérateur que tout est prêt.

L'opérateur contrôle la phase d'acquisition par l'intermédiaire des interruptions de la console de commande. Après un "DEPART ACQUISITION", l'ordinateur lit en mémoire la télémesure et le temps, et les envoie sur bande numérique.

Le principe de l'acquisition de données est simple, mais les programmes sont complexes. Dans chaque phase, on doit effectuer de très nombreux tests de compatibilité et de bon fonctionnement des canaux, périphériques et équipements électroniques.

La lourdeur de ces tests justifie une machine et un software puissants.

4.3 - CONCEPTION DU SYSTEME

4.31 - ETUDE DES MOYENS A METTRE EN ŒUVRE

4.311 - QUALITES REQUISES

Pour fixer les caractéristiques du système, nous allons envisager le cas des télémesures PCM car elles exigent le maximum de possibilités. D'après le standard IRIG (30), la taille maximale d'un cycle de télémesure est de 341 mots.

La possibilité de traiter de façon variée les différentes voies impose une décommutation avant traitement ; il est donc nécessaire de mémoriser l'image d'un format complet.

Après décommutation, une seconde table doit contenir des renseignements concernant le traitement de chaque voie.

La première caractéristique du système est donc de posséder une mémoire de référence importante (plusieurs milliers de mots).

Les nombreux accès à la mémoire lui imposent d'être rapide, si l'on veut traiter les télémesures à grand débit (1,2 mégabits/s au maximum selon les normes IRIG). La possibilité de choix entre divers algorithmes impose une structure de calculateur :

- mémoire de commande contenant les programmes
- automate pour le décodage des ordres
- bloc de calcul

Pour les mêmes raisons, l'unité centrale doit être particulièrement rapide. Chaque mot d'information est accompagné d'une impulsion générée par les équipements électroniques ; sur cette impulsion, le calculateur doit prélever l'information et la traiter ; il doit donc être doté d'un système d'interruption et d'entrée en mode programmé.

L'exigence d'un temps de traitement court (16 μs pour une télémesure à 1 mégabits/s) montre que le calculateur doit être de type industriel, avec une technologie à circuits intégrés.

Les informations non redondantes sortent du bloc de compression à une cadence variable ; une mémoire-tampon doit permettre d'intégrer ces variations pour faciliter le transfert vers des unités de stockage rapide.

4.312 - LES SOLUTIONS

a) Compression sur l'IBM 1800

L'IBM 1800 est intéressant pour la puissance de son dispositif d'entrée/sortie en mode canal à vol de cycle, et par son unité de bande rapide (90 k octets/s). Par contre, le dispositif interruptif est très lourd : le retard à l'exécution du programme d'interruption ne peut être inférieur à 20 μs ; l'unité centrale est peu rapide (cycle de 2,25 μs) et elle ne possède qu'un accumulateur et trois registres d'index. Cette solution n'a pas été retenue.

b) Compression par un calculateur spécialisé

Pour que le traitement de compression soit rapide, il faut utiliser un petit calculateur spécialisé ; l'inconvénient de cette solution est qu'il ne possède généralement pas de périphériques performants.

La structure retenue finalement est indiquée sur la figure 29.

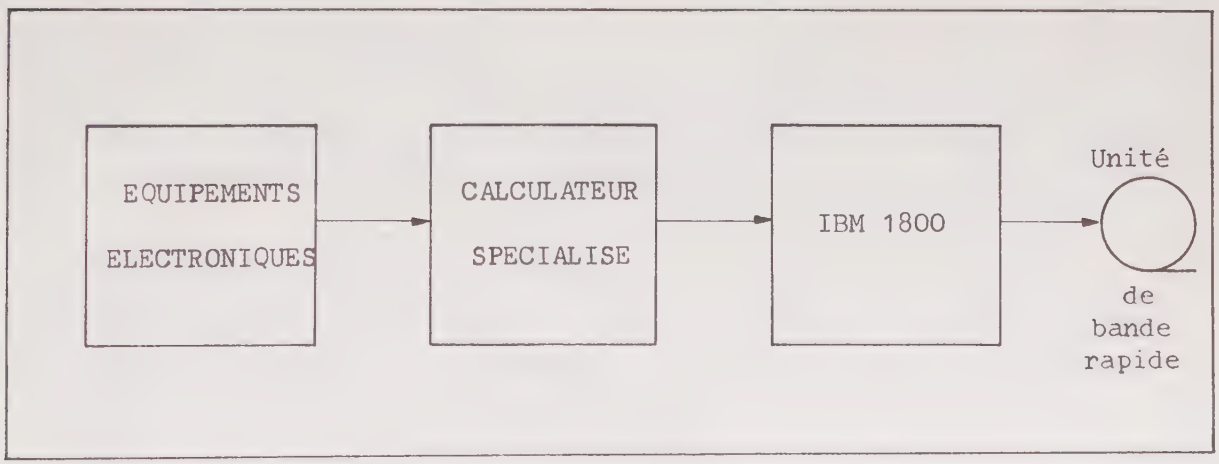


Figure 29 - CHAINE D'ACQUISITION AVEC COMPRESSION

Le calculateur spécialisé comprime les informations, les transmet à l'IBM 1800 qui les archive sur bande magnétique.

On cumule ainsi les avantages :

- d'un petit système spécialisé et rapide,

- d'un gros système bénéficiant d'entrées/sorties et de périphériques puissants.

Deux possibilités s'offrent pour réaliser le calculateur :

- un calculateur câblé spécial,
- un minicalculateur général.

Les deux solutions sont complémentaires :

- la première permet de respecter les contraintes de temps imposées par les cadences. Par contre, elle a l'inconvénient d'être figée, ce qui est peu souhaitable pour une première application ;
- la deuxième est plus lente, mais permet des modifications et des mises au point.

C'est cette dernière que nous avons retenue pour réaliser le premier système ; la solution câblée, en cours de fabrication et de mise au point, permettra "d'industrialiser" le traitement.

4.32 - L'ORDINATEUR IBM7

4.321 - CHOIX DE L'ORDINATEUR

Le choix a été déterminé par les possibilités des machines alors proposées sur le marché ; les qualités recherchées :

- unité centrale puissante et rapide,
- mémoire centrale très rapide,
- dispositif d'interruptions évolué,
- entrées/sorties en mode programmé ou canal,

n'étaient jamais présentes ensemble. Finalement l'IBM7, premier mini-ordinateur IBM, sorti en 1972, a été retenu. Il se compose :

- d'un processeur,
- d'un module d'entrée/sortie.

4.322 - LE PROCESSEUR

a) La mémoire centrale : C'est une mémoire à semi-conducteurs. Le temps de cycle est de 400 nanosecondes. L'adressage se fait au niveau du mot ; chaque mot comprend 18 bits, dont 2 de parité, soit 16 bits utiles. La taille mémoire est de 6 k mots.

b) Les registres de l'unité centrale : En cours de fonctionnement, le Registre Adresse d'Instruction (R.A.I.) pointe sur le programme en mémoire ; une pile de trois registres permet la sauvegarde automatique en cas d'interruption. Il existe 7 registres d'index et un accumulateur pour chacun des quatre niveaux d'interruption.

Un registre de masque permet le contrôle des interruptions.

Des indicateurs (résultat nul, négatif, positif, pair, débordement, dépassement de capacité) peuvent être testés par programme.

c) L'adressage : Sauf pour trois instructions, on ne peut pas adresser directement la mémoire :
L'adressage est relatif :
- soit au Registre Adresse d'Instruction,
- soit à un registre d'index.

Adresse effective = Déplacement + (R.A.I)
ou = Déplacement + ($R.X_i$)

$-128 \leqslant$ Déplacement $\leqslant +127$

d) Le jeu d'instructions : Les instructions à référence mémoire ou entre registres ont toujours le résultat dans l'accumulateur.

- Instructions de chargement et de déchargement (ACC/mémoire et ACC/RX)
- Instructions arithmétiques et logiques (ACC/mémoire et ACC/RX)
- Instructions de décalage (ACC et RX)
- Instructions de branchement conditionnel (test ACC et RX)
- Instructions spéciales, contrôle du masque d'interruption
- Instructions d'entrée/sortie
- Instructions de contrôle de l'état du processeur.

e) Le mécanisme des interruptions : L'exécution de programmes est hiérarchisée de façon automatique : tout programme se déroule sur un des quatre niveaux de priorité ; il n'y a pas de niveau-machine. Chaque niveau est subdivisé en 16 sous-niveaux non hiérarchisés.

Une source d'interruption est associée par programme à un niveau et un sous-niveau.

Lorsqu'une interruption prioritaire est reconnue, le compteur de programme, l'accumulateur, les registres d'index et les indicateurs sont mis en garde automatiquement ; le branchement au programme associé au niveau et au sous-niveau de l'interruption est effectué par l'intermédiaire de deux tables ; le temps de commutation est de 800 ns.

Lorsqu'une interruption non prioritaire est reconnue, elle est mise en attente si le tampon de niveau est libre ; sinon, elle est perdue.

Au système d'interruption est associée une logique de déclenchement d'interruptions programmées (une par niveau).

Les erreurs de programme et pannes de la machine provoquent également des interruptions prioritaires dites internes.

Le fonctionnement des interruptions est contrôlé complètement par programme :

- Affectation dynamique de priorité ou interdiction d'interrompre ;
- masquage sélectif des quatre niveaux ;
- masquage général sans modification de masque.

4.323 - LE MODULE D'ENTREES / SORTIES

Le module d'entrées/sorties est situé entre le processeur et les processus externes ; il est capable :

- de lire des informations de 16 bits et de les envoyer au processeur,
- de reconnaître des interruptions externes et de présenter une interruption sur le niveau et sous-niveau auxquels a été affecté le registre interruptif,
- d'exécuter les ordres d'écriture d'informations de 16 bits avec envoi vers le processus.

Toutes les entrées/sorties sont en mode programmé ; il n'y a pas de canaux à vol de cycle. La durée de l'instruction d'entrée/sortie est 2 μs.

4.33 - ARCHITECTURE GENERALE

L'acquisition avec compression d'informations est l'étape finale d'un processus complexe qui peut être divisé comme suit :

- préparation
- initialisation
- acquisition proprement dite.

Dans la première phase, les informations nécessaires à l'acquisition avec compression sont demandées à l'opérateur et archivées dans un fichier sur disque.

Ce travail n'est pas de type temps réel ; il requiert une grande capacité d'entrée/sortie (écran de visualisation, disque) ; il sera donc attribué à l'IBM 1800 seul.

Dans la deuxième phase, les fichiers sont exploités pour programmer les équipements électroniques, préparer l'IBM7 et l'IBM 1800 à l'acquisition.

L'IBM 1800 sera maître, l'IBM7 considéré comme un équipement électronique à programmer. Dans la troisième phase - l'acquisition - , l'IBM7 est maître ; il traite les informations au fur et à mesure de leur arrivée et les transmet à l'IBM 1800 pour stockage.

Au cours de l'initialisation et de la compression, les deux systèmes communiquent entreeux : échanges d'information, de compte-rendus, de requête etc...

Les transferts doivent être rapides, en particulier dans le sens IBM7 / IBM 1800.

Ceci nous a amené à concevoir et réaliser une liaison rapide de "registre à registre ", non disponible chez IBM : deux moniteurs, un sur l'IBM7, l'autre sur l'IBM 1800, permettent de la gérer.

Dans le chapître 4.4, nous allons décrire la liaison du point de vue élec-

tronique, l'interface entre le calculateur IBM7 et les équipements de synchronisation des télémesures.

Les chapîtres suivants seront consacrés à une analyse détaillée :

- des programmes système contrôlant l'IBM7 et la liaison ;
- des programmes de compression de données.

4.4 - L'ELECTRONIQUE

4.41 - CONFIGURATION GENERALE DE LA CHAINE (Fig. 30)

L'IBM7 et les équipements électroniques d'une part, l'IBM 1800 et l'IBM7 d'autre part, sont reliés entre eux par l'intermédiaire du coupleur MI7 / MI8 ; son fonctionnement sera analysé au paragraphe 4.44.

Deux canaux d'information relient les machines dans les deux sens.

Côté IBM 1800, il s'agit de deux canaux à vol de cycle ; côté IBM7, de deux canaux simulés par programme.

L'IBM 1800 peut générer 4 interruptions vers l'IBM7. De même, l'IBM7 peut envoyer 4 interruptions vers l'IBM 1800.

4.42 - CONFIGURATION DE L'IBM7

L'IBM7 possède (Fig.31 et Tableau XI) :

- 7 registres d'entrée numérique dont deux interruptifs ;
- 3 registres de sortie numérique dont un avec synchronisation ;
- un télétype.

4.421 - REGISTRES INTERRUPTIFS

Le premier registre interruptif (RIP1) reçoit les impulsions issues de l'électronique de décodage, soit :

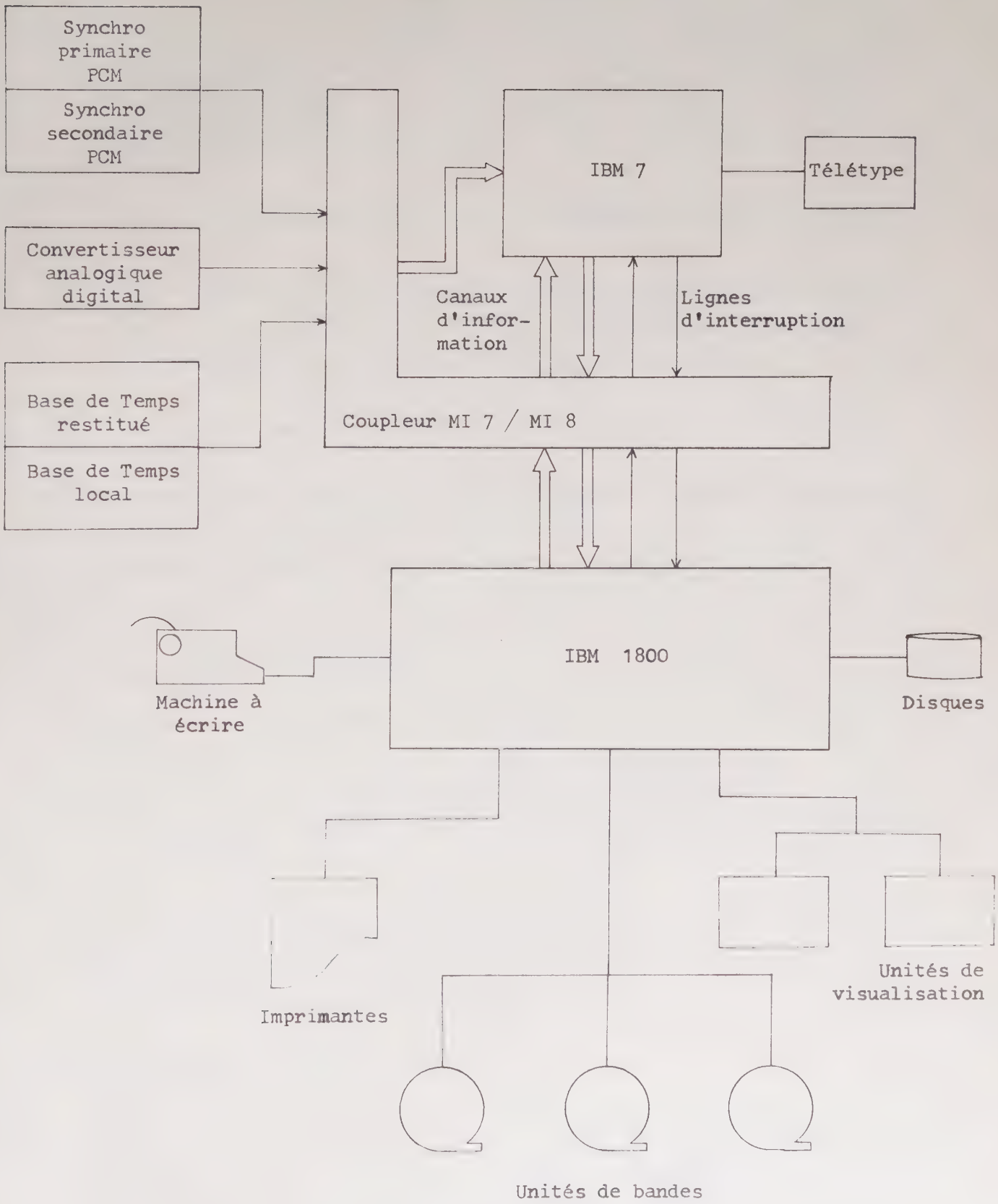

Synchro primaire PCM
Synchro secondaire PCM
Convertisseur analogique digital
Base de Temps restitué
Base de Temps local
IBM 7
Télétype
Canaux d'information
Lignes d'interruption
Coupleur MI 7 / MI 8
IBM 1800
Machine à écrire
Disques
Imprimantes
Unités de visualisation
Unités de bandes

Figure 30

- Impulsion de mot
- Impulsion de ligne
- Inpulsion de format

} En PCM

ou

- Impulsion de mot
- Impulsion de groupe (passage par la voie zéro)

} En FM

Le deuxième registre (RIP2) reçoit les interruptions dites de service :

- les impulsions des canaux 1800 : chaque fois qu'un canal automatique vient lire ou écrire un mot, il envoie une impulsion "PRET CANAL".
- les commandes de l'acquisition envoyées par l'IBM 1800 :
  - . DEPART
  - . ARRET
  - . FIN
- une quatrième interruption venant du 1800 dite "REQUETE SYSTEME 1800".

La description détaillée des deux registres apparaît en annexe A.

4.422 - ENTREES NUMERIQUES

Le premier registre (REN1) est connecté :

- soit au canal de programmation (configuration système),
- soit au registre information des équipements électroniques (configuration acquisition).

La commutation est effectuée par le coupleur (§ 4.44) sur ordre de l'IBM 1800. Les quatre autres registres sont connectés à l'ensemble base de temps par l'intermédiaire du coupleur.

4.423 - SORTIES NUMERIQUES

Le premier registre (RSN1) est connecté au canal d'entrée numérique QUA de l'IBM 1800. Il est muni d'un dispositif spécial de synchronisation : lorsqu'une écriture est commandée, une impulsion "PRET REGISTRE" est envoyée vers la logique du canal IBM 1800, qui effectue alors la lecture. Les informations d'acquisition et les échanges entre les deux systèmes utilisent ce registre.

PLAN GENERAL DE L'IBM 7

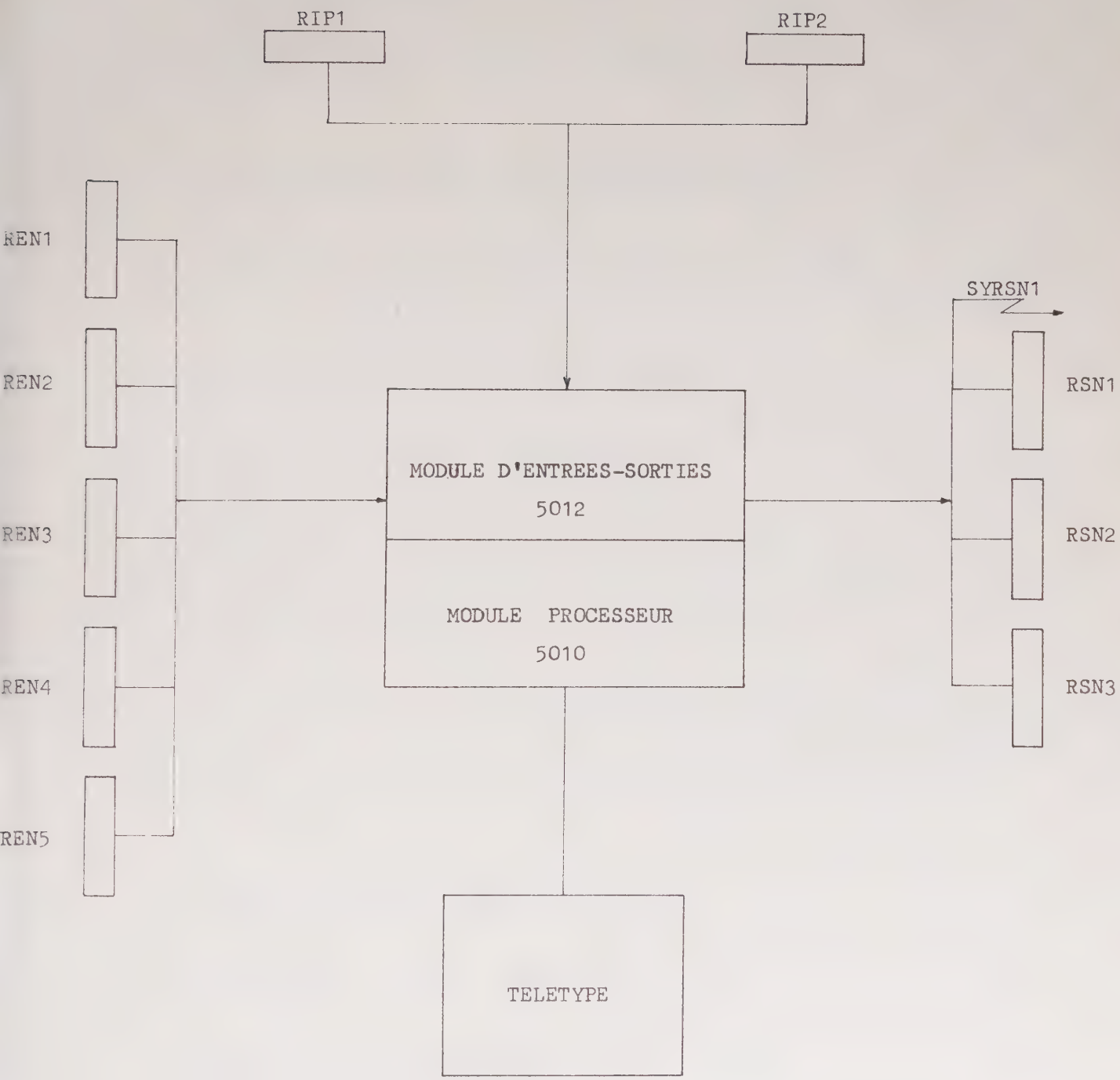


Figure 31

Le deuxième registre (RSN2) est réservé à l'envoi de signaux de service vers :

- le canal automatique connecté au REN1 : c'est alors un signal de synchronisation indiquant au canal qu'il doit présenter le mot suivant ;
- l'IBM 1800 (4 interruptions) ;
- le coupleur (4 ordres).

Le registre est décrit en détail en annexe B.

4.43 - RESSOURCES DE L'IBM 1800 UTILISEES PAR L'IBM 7

La configuration de l'IBM 1800 étant déjà très importante, il n'a pas été possible de réserver deux canaux pour les échanges entre les deux systèmes.

L'IBM7 partage des canaux avec les équipements électroniques :

- le canal de programmation des modules dans le sens IBM 1800 / IBM7 (cf. Fig. 27 § 4.221), (16 bits d'information + 2 bits pour le contrôle du coupleur) ;
- le canal d'acquisition quatant dans le sens IBM7 / IBM 1800 (16 bits d'information) ; la commutation est effectuée par le coupleur sur ordre de l'IBM 1800.

Les interruptions générées par l'IBM7 ont été connectées aux borniers des niveaux 15, 17 et 19 ; elles sont ainsi prioritaires sur tous les travaux longs (niveaux 21 à 24 et niveau machine pour le "batch processing").

4.44 - LE COUPLEUR MI7 / MI8

Le coupleur MI7 / MI8 est chargé (Fig. 32) :

- du contrôle des échanges entre les deux systèmes ;
- de la programmation des modules électroniques ,
- du contrôle de l'acquisition.

SYMBOLES	SIGNIFICATION		AFFECTATION	DEVICE ADDRESS
REN1	Registres d'entrée numérique	n° 1	Information venant du 1800 ou télémesure	2
REN2		n° 2	Temps 1 (jours)	3
REN3		n° 3	Temps 2 (heures, minutes)	4
REN4		n° 4	Temps 3 (secondes — dizaines de ms)	5
REN5		n° 5	Temps 4 (ms, µs)	6
RIP1	Registres inter - ruptifs	n° 1	Interruptions d'acquisition	0
RIP2		n° 2	Interruptions de service	1
SYRSN1	Impulsion réglable		Synchronisation du registre de sortie numérique n° 1	-
RSN1	Registres de sortie numérique	n° 1	Sortie information vers le 1800	12
RSN2		n° 2	Sortie de service vers 1800 et MI 7	13
RSN3		n° 3	Non utilisé	14

Tableau XI

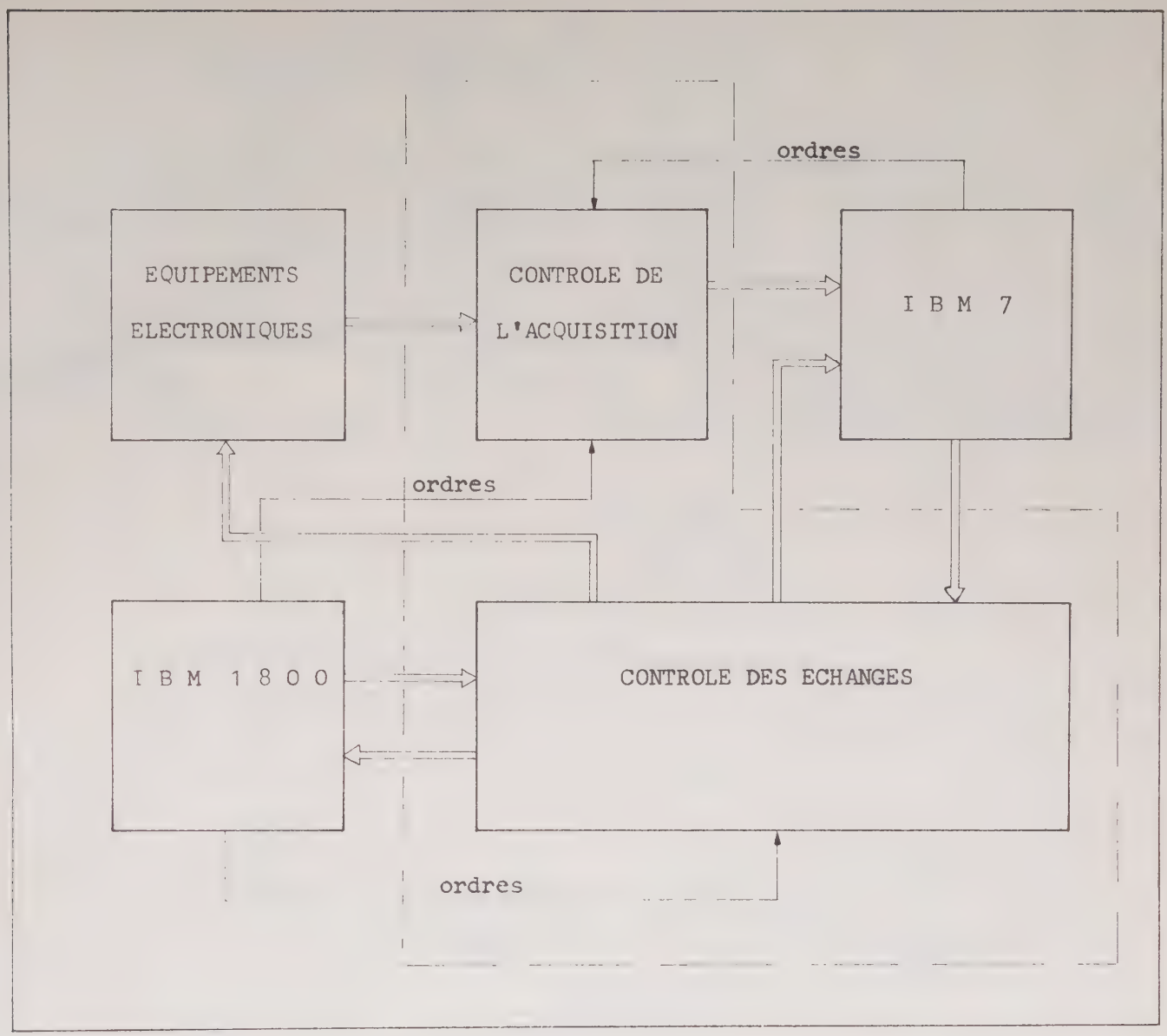
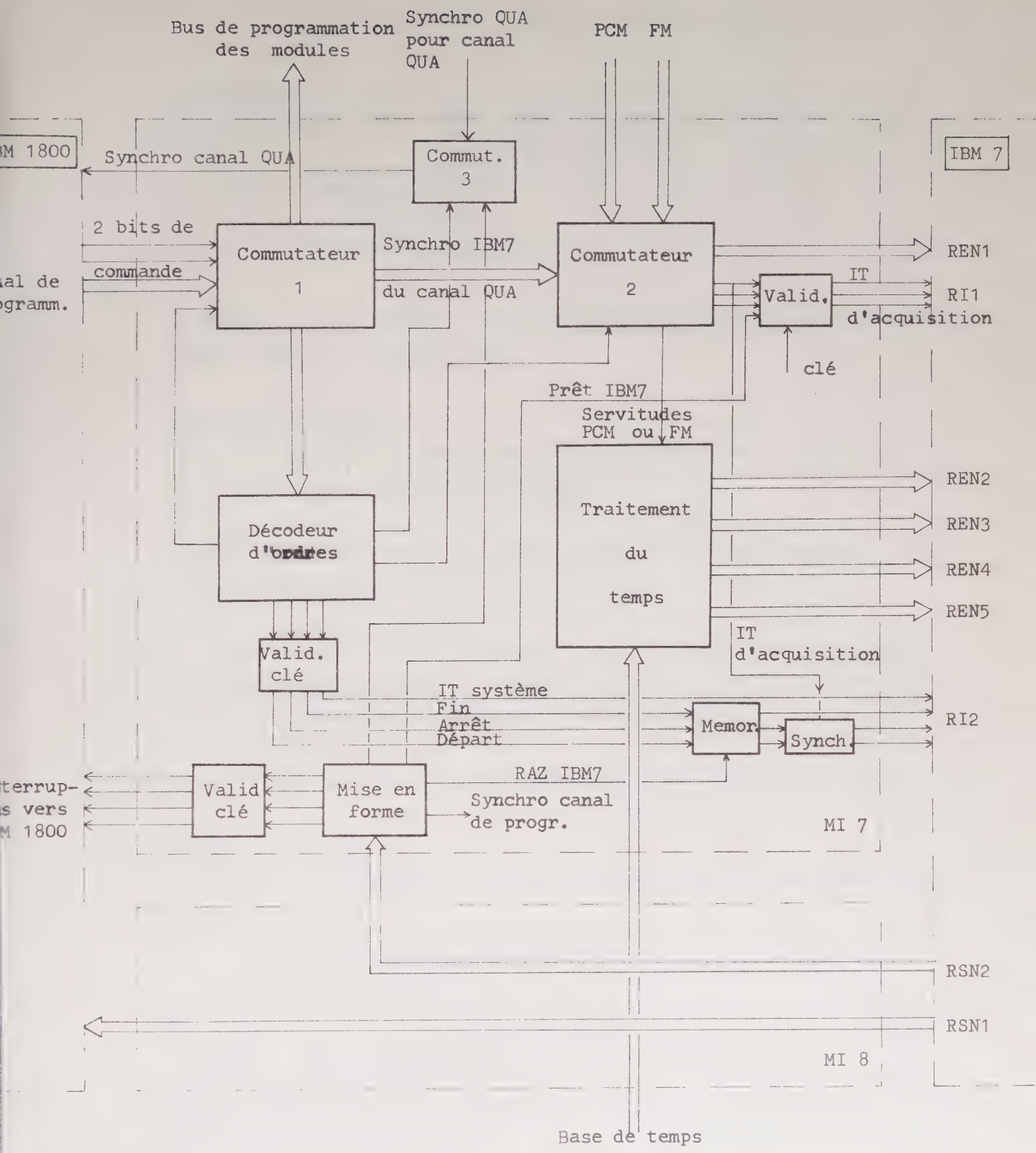


Figure 32 - PRINCIPE DU COUPLEUR

Le contrôle des échanges est exécuté sous la responsabilité de l'IBM 1800 seul. Le contrôle de l'acquisition est effectué sur ordre des deux ordinateurs.

Le synoptique de la figure 33 montre le fonctionnement de l'ensemble.



SYNOPTIQUE DE FONCTIONNEMENT MI7 / MI8

Figure 33

- la liaison télémesure (PCM ou FM) / IBM7 (commutateur 2)
- la liaison IBM7 / IBM 1800 (commutateur 3)

b) Interruptions

L'IBM 1800 peut envoyer trois ordres au coupleur, sur commande d'un opérateur :

- Départ acquisition
- Arrêt temporaire
- Fin de l'acquisition

Le coupleur les transmet à l'IBM7 en synchronisme avec une impulsion de format (PCM) ou de groupe (FM).

c) Commandes de l'IBM7

Lors de la réception d'une de ces trois interruptions, l'IBM7 doit renvoyer une impulsion de prise en compte.

Par une deuxième commande, le "PRET IBM7", l'IBM 7 peut valider ou masquer l'acquisition.

Lorsqu'elle est mise à un, la validation n'est effective qu'à partir de la deuxième interruption de format ou de groupe : ceci pour permettre la fin de l'exécution du programme d'initialisation.

Ce fonctionnement est illustré par le diagramme de temps de la figure 34.

d) Traitement du temps

Pour dater l'acquisition, le temps est lu chaque fois que l'IBM7 reçoit une interruption :

- de format ou de ligne PCM
- de groupe en FM

Le temps et les qualités (synchronisation, qualité du temps) sont groupés dans quatre mots de 16 bits. En synchronisme avec les impulsions de format, ligne ou groupe, le temps courant est comparé au temps précédent ; le résultat de la comparaison est codé sur deux bits et intégré à l'un des mots-temps ; l'IBM7 pourra ainsi :

- soit lire systématiquement les quatre mots-temps
- soit lire les mots-temps qui ont varié.

- la liaison télémesure (PCM ou FM) / IBM7 (commutateur 2)
- la liaison IBM7 / IBM 1800 (commutateur 3)

b) Interruptions

L'IBM 1800 peut envoyer trois ordres au coupleur, sur commande d'un opérateur :

- Départ acquisition
- Arrêt temporaire
- Fin de l'acquisition

Le coupleur les transmet à l'IBM7 en synchronisme avec une impulsion de format (PCM) ou de groupe (FM).

c) Commandes de l'IBM7

Lors de la réception d'une de ces trois interruptions, l'IBM7 doit renvoyer une impulsion de prise en compte.

Par une deuxième commande, le "PRET IBM7", l'IBM 7 peut valider ou masquer l'acquisition.

Lorsqu'elle est mise à un, la validation n'est effective qu'à partir de la deuxième interruption de format ou de groupe : ceci pour permettre la fin de l'exécution du programme d'initialisation.

Ce fonctionnement est illustré par le diagramme de temps de la figure 34.

d) Traitement du temps

Pour dater l'acquisition, le temps est lu chaque fois que l'IBM7 reçoit une interruption :

- de format ou de ligne PCM
- de groupe en FM

Le temps et les qualités (synchronisation, qualité du temps) sont groupés dans quatre mots de 16 bits. En synchronisme avec les impulsions de format, ligne ou groupe, le temps courant est comparé au temps précédent ; le résultat de la comparaison est codé sur deux bits et intégré à l'un des mots-temps ; l'IBM7 pourra ainsi :

- soit lire systématiquement les quatre mots-temps
- soit lire les mots-temps qui ont varié.

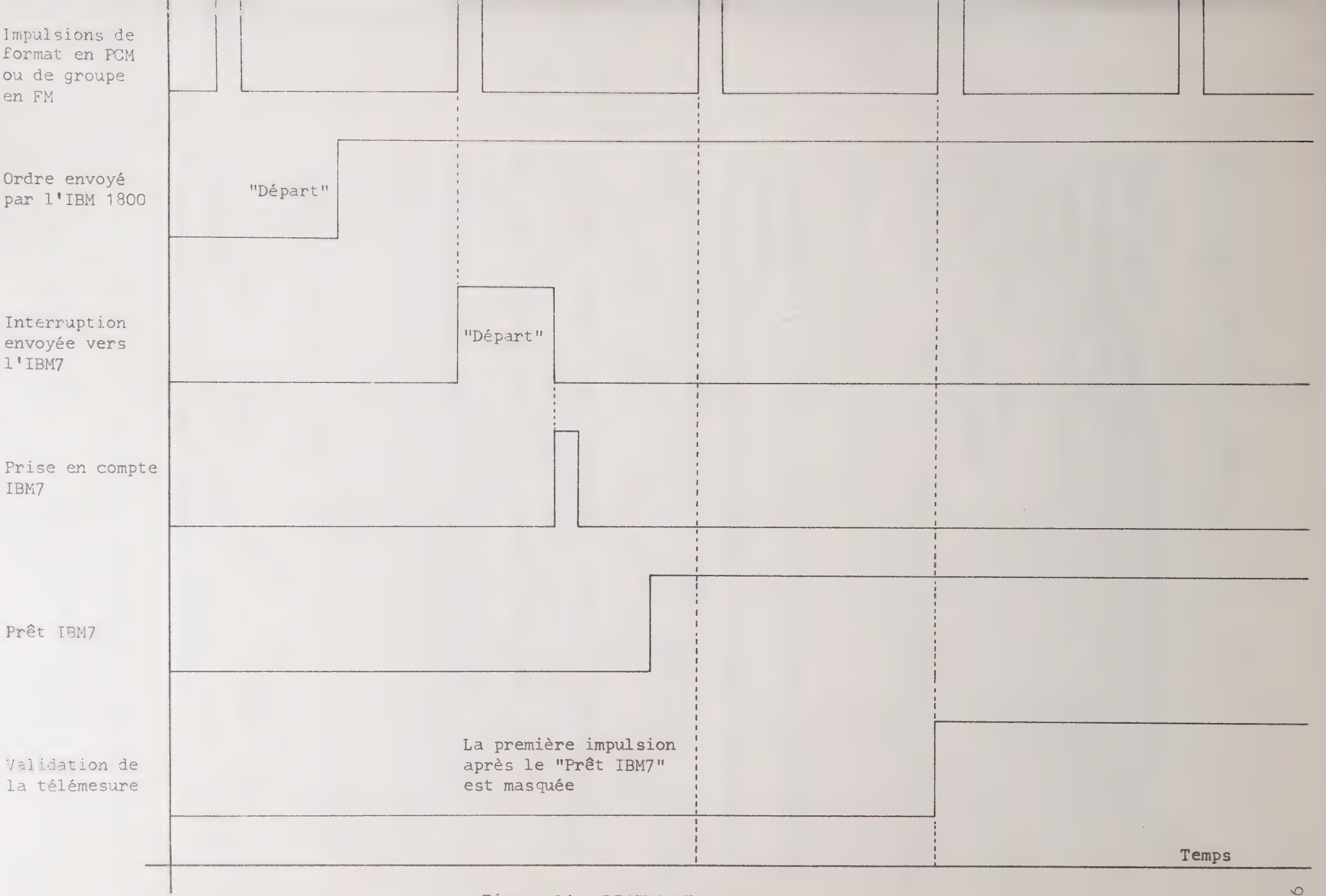


Figure 34 - DIAGRAMME DES TEMPS

4.5 - ORGANISATION GENERALE DES PROGRAMMES

L'acquisition de données avec compression nécessite une étape de préparation. Chaque voie de télémesure peut être traitée différemment ; il est donc nécessaire de créer un fichier, indépendant du programme de compression, contenant des informations relatives :

- à la télémesure en général,
- à chaque voie en particulier.

Ce n'est pas une tâche "temps réel" ; elle peut être exécutée à l'avance.

Lorsqu'on veut lancer l'acquisition, il faut :

- transmettre à l'IBM7 les fichiers de préparation particuliers à cette acquisition ;
- transmettre le programme de compression, plus général, mais éventuellement disponible dans plusieurs versions ;
- établir les connexions entre l'IBM7 et les télémesures et entre l'IBM7 et l'IBM 1800.

Le système est alors prêt, et attend les ordres de l'opérateur.

Les tâches exécutées par les deux machines sont de deux types :

- tâches "système" : établissement des connexions entre machines, recherche sur disque de programmes IBM7, envoi de ces programmes vers l'IBM7 par l'IBM 1800. Déclenchement de tâches IBM 1800 par l'IBM7 et vice-versa ;
- tâches "d'acquisition" : traitement des fichiers de compression et acquisition proprement dite.

Il n'existait pas de "software" IBM pour gérer la liaison ; quant au système IBM7, il était trop encombrant et trop lent. Nous avons donc écrit des programmes de service dont l'ensemble forme :

- le moniteur IBM7, qui contrôle entièrement le fonctionnement de la machine ;
- le moniteur de liaison sur IBM 1800, assurant les échanges d'informations et d'interruptions.

Le programme d'acquisition s'appuie sur les programmes système, par contre, ceux-ci sont, dans une large mesure, indépendants des premiers.

Les avantages de cette structuration sont nombreux :

- mise au point de la liaison facilitée ;
- gain de généralité : le moniteur IBM7 autorise l'exécution de programmes quelconques ;
- aide à la mise au point : le moniteur fournit des facilités : chargement sur requête, listes, ...

Dans les chapitres suivants, nous examinerons successivement :

- les programmes système ;
- les programmes d'acquisition.

4.6 - LES PROGRAMMES - SYSTEME

4.61 - ORGANISATION DES PROGRAMMES

Le moniteur IBM7 est un programme résident ou noyau ; il assure le fonctionnement normal de la machine, en particulier :

- le traitement des interruptions,
- le traitement des erreurs,
- les entrées/sorties sur télétype, conversions, ...

Il contrôle en outre les échanges entre les deux systèmes :

- échanges d'informations,
- échanges d'interruptions.

Sa fonction principale est le chargement de programmes depuis le disque de l'IBM 1800, où sont stockés tous les programmes IBM7.

Au moniteur IBM7 est associé un moniteur de liaison sur IBM 1800. Celui-ci est activé :

- soit par des programmes IBM 1800,
- soit par des interruptions envoyées par le moniteur IBM7.

Du fait même du type d'exploitation de l'IBM 1800, multiprogrammation et temps réel, il fallait éviter l'arrêt du calculateur pendant la période de mise au point. Ceci nous a conduit à réaliser un moniteur non résident, constitués de sous-programmes appelables et de programmes d'interruption en image-mémoire disponibles sur un disque.

Cette solution a permis :

- d'éviter toute modification de programmes-système ;
- d'exploiter au maximum les possibilités de multiprogrammation.

La liaison normale, dite "sous système", utilise des programmes appelés en zone variable sur interruption (CMI) (voir § 4.222 et tableau X).

Le temps d'échange des informations est négligeable par rapport au temps de réponse du système 1800 (de l'ordre de 0,1 s).

La liaison "en acquisition" utilise des sous-programmes d'interruption chargés en partition 1 (§ 4.222-b et tableau X).

La cadence de transfert peut alors atteindre 100 k mots/s.

La fiabilité de la liaison est assurée, sous système, par le contrôle :

- de la structure des informations échangées,
- du "cheksum" (somme modulo 16, complémentée à 2, de toutes les informations).

Toute erreur de transmission est détectée et imprimée sur la machine à écrire de l'ordinateur qui l'a constatée. Il n'y a pas de procédure de reprise : la liaison étant très courte (10 ms), une erreur est certainement la conséquence d'une panne du coupleur.

En acquisition, la détection d'erreur a été sacrifiée à la rapidité.

Le test des liaisons avant et après l'acquisition permet néanmoins d'estimer un bon fonctionnement très probable.

Le dialogue homme/machine est assuré :

- par le télétype de l'IBM7,
- essentiellement par les unités de visualisation de l'IBM 1800.

Pour faciliter l'écriture des programmes et les dialogues, nous avons amélioré le "software" de ces unités (IBM 2260) et modifié le Moniteur d'Ecran.

Les organigrammes des programmes et sous-programmes système se trouvent en annexe C.

4.62 - LE MONITEUR IBM7 (31)

4.621 - PRESENTATION (Fig. 35)

Le moniteur IBM7 a pour fonctions essentielles :

- Initialisation du systeme : mots réservés aux interruptions, tables de branchement sur interruption, assignation des sources d'interruption à un niveau et un sous-niveau, ...
- Traitement des interruptions : branchements aux programmes associés aux interruptions
- Reconnaissance des erreurs et édition sur machine à écrire
- Chargement de fichiers, ou chargement et exécution de programmes sur l'ordre de l'IBM 1800
- Transmission à l'IBM 1800 des requêtes, en particulier des demandes de chargement de programmes ou fichiers depuis le disque
- Mise à la disposition de l'utilisateur d'un ensemble de sous-programmes résidents. L'accès, par l'intermédiaire d'une table de points d'entrée en fond de mémoire, rend les programmes-utilisateur indépendants de l'implantation réelle des sous-programmes.

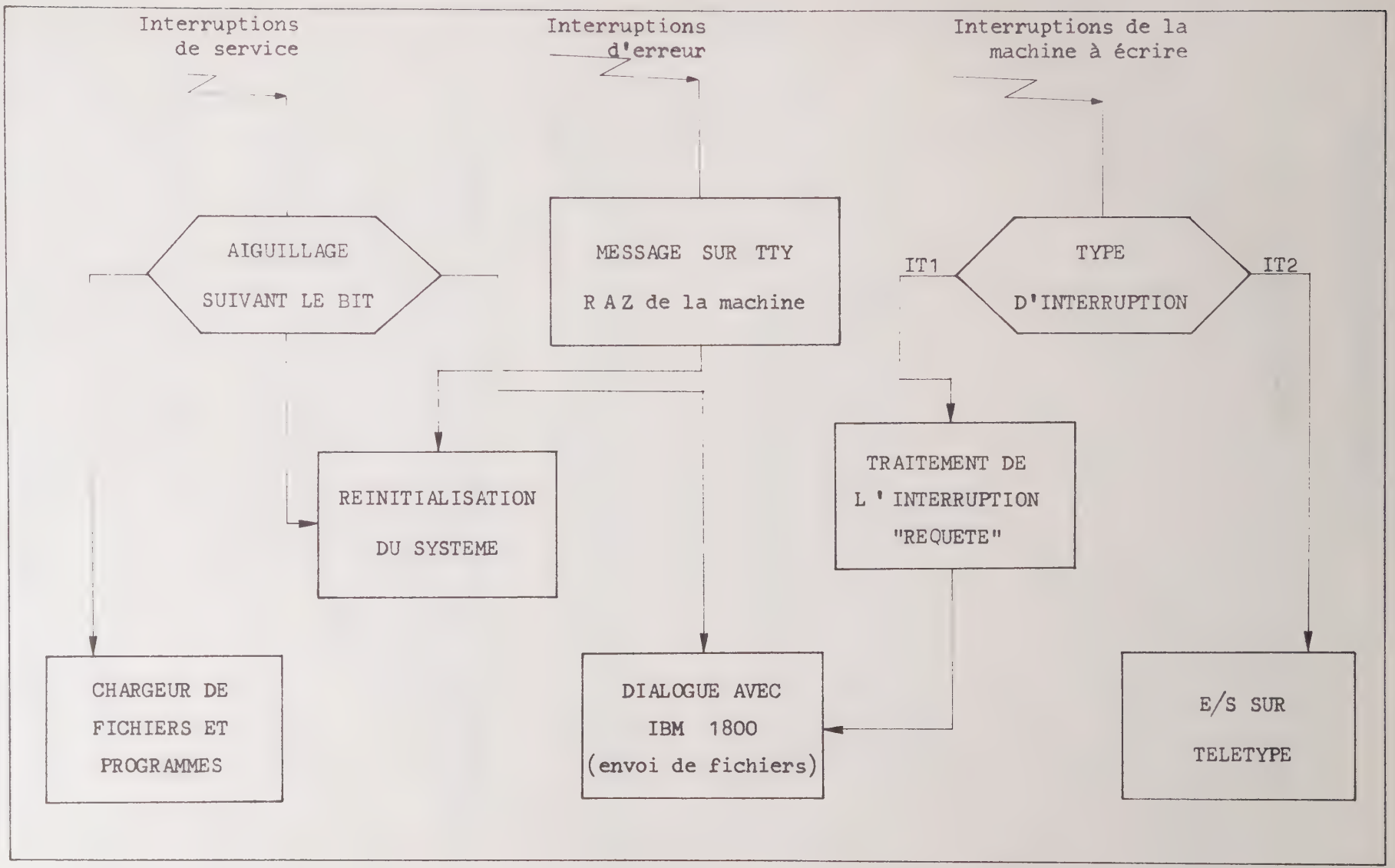


Figure 35 - PRINCIPAUX MODULES DU MONITEUR

4.622 - CARACTERISTIQUES DU MONITEUR

a) Implantation en mémoire (Fig. 36)

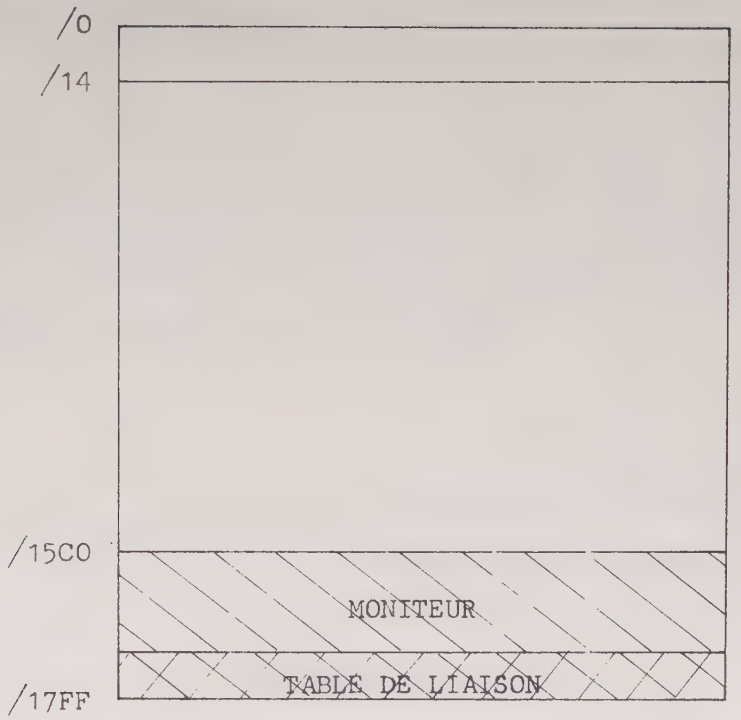


Figure 36

Le moniteur est chargé en fond de mémoire, où il occupe 575 mots ; les 20 premiers mots sont réservés (reprise et mots réservés des niveaux d'interruption et des erreurs).

b) Ressources attribuées au moniteur (Fig. 31 et tableau XI)

Le moniteur dispose :

- du processeur sur deux niveaux d'interruption
- de la machine à écrire
- du registre interruptif de service (RIP2)
- du registre d'entrée REN1
- des registres de sortie RSN1 et 2

c) Niveaux d'exécution (Fig. 37)

Le moniteur se déroule :

- soit sur le niveau 0 (interruptions de la machine à écrire)
- soit sur le niveau 1 (interruptions de service : prêt des canaux 1800 ou interruptions "requête système 1800").

Les modules appelables du moniteur se déroulent sur le niveau des programmes appelants.

Le niveau 2 est libre.
Le niveau 3 est normalement attribué aux programmes utilisateurs.

Les programmes utilisant toutes les ressources de l'IBM7, en particulier les acquisitions, peuvent modifier totalement cette configuration : toutes les affectations de priorité se font par software. En fin de programme, la configuration initiale est remise en place par exécution du programme de réinitialisation (§ 4.623).

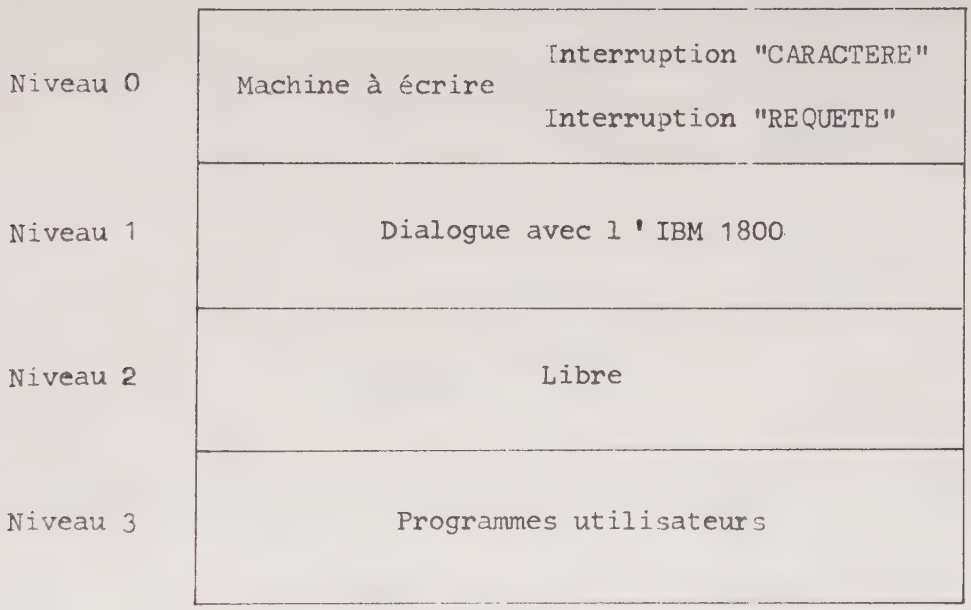


Figure 37 - HIERARCHIE DES PROGRAMMES

d) Tables

Le mécanisme des interruptions utilise deux tables pour se brancher aux programmes d'interruption : Figure 38.

La première table a un emplacement fixe (mots 16 à 20_{10}) à chacun des quatre niveaux correspondant au mot contenant l'adresse de la table de branchement du niveau.

Les tables de branchement de niveau (ILBT0, ILBT1, ILBT3) se trouvent dans le moniteur (niveaux 0, 1, 3) ; le premier mot est réservé ; à chaque sous-niveau correspond un pointeur contenant l'adresse du programme correspondant.

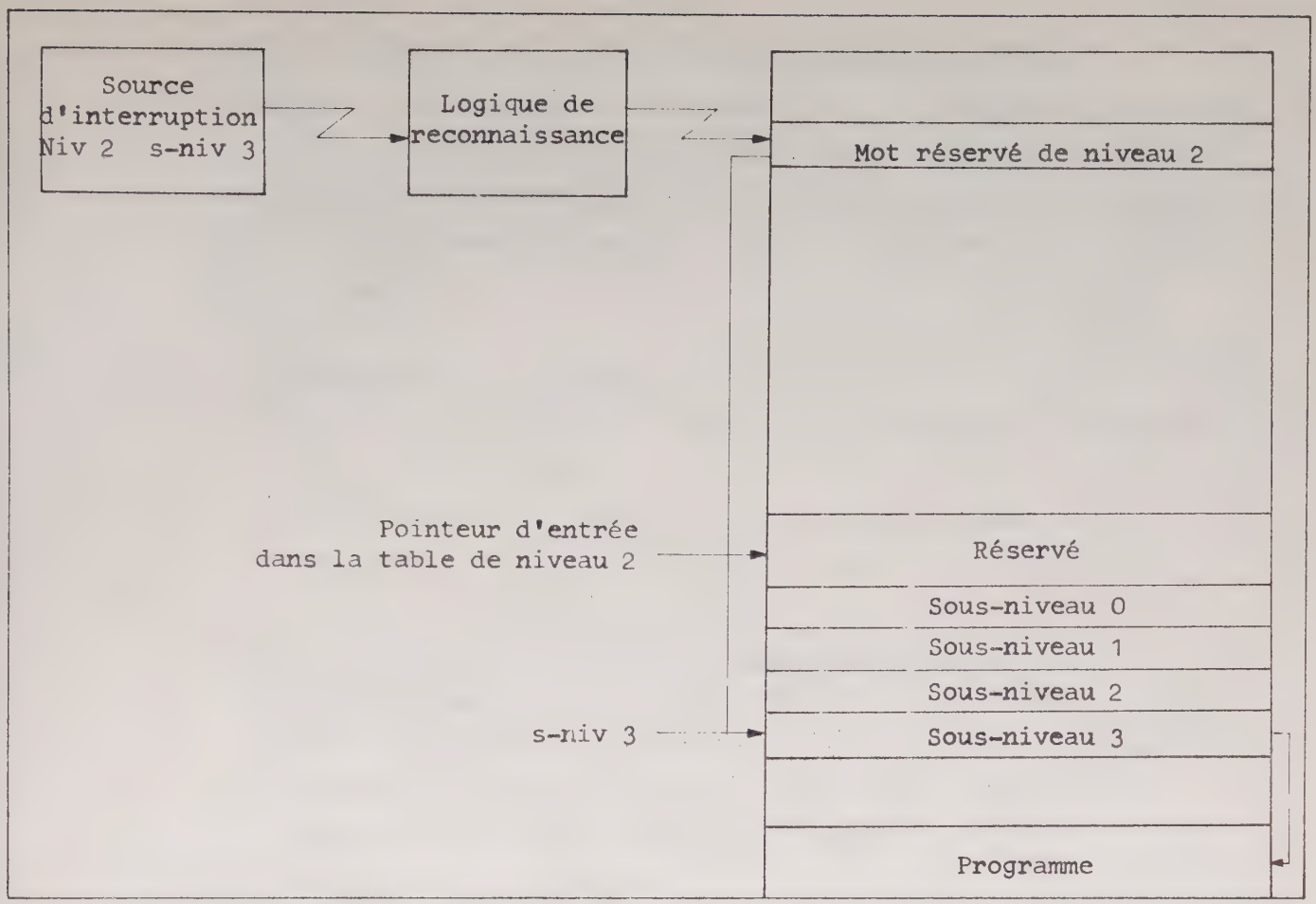


Figure 38 - EXEMPLE

En tête de mémoire, des mots sont également réservés :

- mots 0 et 1 = branchement long au point d'entrée du moniteur
- mots 9 à 13 = adresse des programmes de traitement des erreurs

Ces différentes tables sont initialisées par le moniteur afin d'assurer son fonctionnement correct.

Afin de faciliter l'accès aux sous-programmes et modules appelables du moniteur, une table de liaison à emplacement fixe est implantée en fond de mémoire. Une modification éventuelle du moniteur ne perturbera pas les programmes utilisateurs. Les diverses tables sont décrites en annexe D.

4.623 - INITIALISATION / REINITIALISATION (SYST7 / RINIT)

Le module d'initialisation est exécuté lors du chargement du moniteur. Les réinitialisations sont exécutées soit sur interruption venant du 1800, soit sur détection d'erreurs programme, soit par branchement direct d'un programme utilisateur. Les deux procédures ont une grande partie commune.

a) Initialisation 1ère partie

- Initialisation des mots réservés, et assignation du télétype sur le niveau 0 sous-niveau 1 ;
- Initialisation de l'adresse de reprise (mots réservés 0 et 1) ;
- Démarrage du moteur du télétype et impression de "SYS LD".

b) Initialisation 2ème partie et réinitialisation

- Réinitialisation des mots réservés et réassignation du télétype ;
- RAZ du module d'entrées/sorties : initialisation, assignation et armement du registre interruptif de dialogue (RIP2)
- Préparation de l'aiguillage de la requête MAE ;
- Initialisation du chargeur ;
- Démasquage général ;

En fin de programme, toutes les ressources attribuées au moniteur sont initialisées ; par contre, le registre interruptif d'acquisition n'est pas préparé (les interruptions d'acquisition sont désarmées).

4.624 - TRAITEMENT DES INTERRUPTIONS DE SERVICE (RIP2) (ANALY)

Trois interruptions de service sont reconnues et aiguillées :

- l'interruption "système" 1800 : branchement au module de réinitialisation ;
- le prêt canal de programmation : chargeur
- le prêt canal d'entrée 1800 : envoi de données vers 1800.

Les autres interruptions de RIP2 sont reconnues, mais non traitées.

4.625 - CHARGEUR (SCHAR)

a) Description

Le chargeur de fichiers est initialisé par une des procédures définies en 4.623 ; il est alors prêt à charger programmes ou fichiers ; le fia-

bilité est assurée :

- par une structure particulière des enregistrements qui doit être reconnue par le chargeur ;
- par le contrôle du checksum (au moins deux fois par transmission) ;

A la fin de la transmission, le chargeur imprime "LD FIC" et arrête son travail s'il s'agit d'un fichier ; dans le cas d'un programme, il force la fin d'exécution de toute tâche se déroulant sur le niveau 3, imprime "XQ JOB" et active le programme chargé par une interruption programmée sur le niveau 3.

b) Structure des enregistrements (Fig. 39)

Un fichier à transmettre est constitué d'un ou plusieurs enregistrements "TEXTE" et d'un enregistrement "FIN DE FICHIER" ou "FIN DE PROGRAMME" selon qu'il s'agit de fichier à charger ou d'un programme à exécuter.

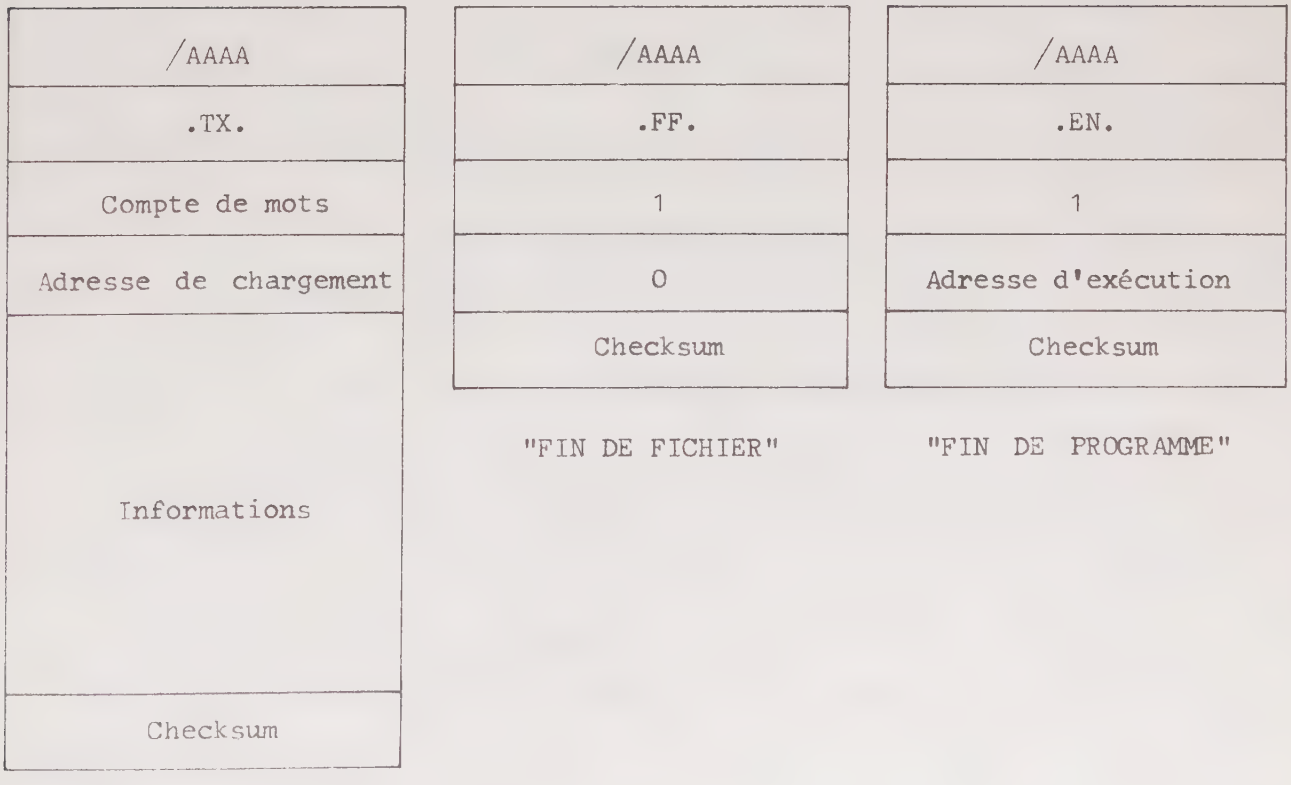


Figure 39

Le compte de mots comprend le compte d'informations et l'adresse de chargement. Le checksum est le complément à deux de la somme modulo 16 de toutes les informations et de l'adresse de chargement (ou d'exécution).

c) Erreurs

Le chargeur se synchronise sur les têtes d'enregistrement (/AAAA) ; les caractères en tête ou intercalés entre les enregistrements sont ignorés.

- "ER SEQ" : erreur de séquence ; le code suivant une tête d'enregistrement n'est pas .TX., .EN. ou .FF.
- "ER CKS" : erreur de checksum

4.626 - TRAITEMENT DES ERREURS INTERNES (EAC1, 2, 3)

Les erreurs machine ou défauts d'alimentation provoquent l'arrêt de la machine. Les erreurs programmes sont éditées sur la machine à écrire, suivant le format :

ERR XXXX YYYY

XXXX = type d'erreur : 8000 décalage invalide
4000 adresse invalide
2000 code opération invalide

Les erreurs peuvent être combinées.

YYYY = adresse hexadécimale de l'instruction en défaut.

4.627 - TRAITEMENT DE LA REQUETE MACHINE (REQTE)

La machine à écrire peut générer deux types d'interruptions :

- Interruptions d'entrées/sorties
- Interruptions "REQUETE" correspondant à une touche particulière.

Lorsqu'une interruption est reconnue, le test du mot d'état de la machine à écrire permet de distinguer l'une ou l'autre. L'interruption "REQUETE" provoque normalement un branchement à l'enchaîneur des tâches, chargé d'acquitter les demandes de travaux, effectuées au télétype de l'IBM7. Celui-ci libère le niveau 3 s'il est actif, imprime "JOB :", lit le nom du programme ou du fichier, et le transmet à l'IBM 1800 par

l'intermédiaire du sous-programme LOAD, chargé des demandes de chargement.

4.628 - SOUS-PROGRAMMES DE SERVICE

a) Entrées/sorties sur la machine à écrire (MAE)

Le sous-programme MAE permet de lancer le moteur, d'écrire sur l'imprimante, de lire le clavier avec réimpression, et d'assigner la requête machine à écrire.

L'accès au sous-programme est réglé par un sémaphore d'entrée, autorisant une file d'attente d'un appel par niveau d'exécution. Un accès spécial (MAED) est réservé à l'édition des messages d'erreur.
Le retour au programme appelant est immédiat une fois l'entrée/sortie lancée sur les niveaux 1, 2 et 3 ; un indicateur d'occupation informe si l'opération est en cours ou terminée.

Sur le niveau 0, l'exécution du programme est suspendue pendant les entrées/sorties.

b) Conversion binaire / hexa / ASCII (CONV)

Le sous-programme convertit un nombre binaire de 16 bits en 4 digits hexadécimaux codés en ASCII.

c) Chargement de fichiers ou programmes stockés sur disque (LOAD ou LINK)

Ce sous-programme, utilisé par l'enchaîneur de tâches, peut être exécuté par appel direct ; cette procédure permet de segmenter de gros programmes ou de charger successivement des fichiers.

Par l'intermédiaire des modules PULSE et CANAL, une requête de chargement et le nom du fichier ou du programme sont envoyés vers le 1800.

d) Envoi d'interruptions vers IBM 1800 (PULSE)

PULSE peut générer quatre interruptions vers l'IBM 1800 ; deux sont réservées au système :

- interruption pour le chargement du moniteur IBM7 ;
- interruption "REQUETE MONITEUR"

e) Envoi de fichiers vers l'IBM 1800 (CANAL)

CANAL génère l'interruption "REQUETE MONITEUR", puis attend la réponse du canal 1800 ; lorsque le canal est prêt, le fichier est envoyé.

4.629 - PROGRAMME DU DUMP

Le programme de DUMP n'est pas inclus dans le noyau ; il est chargé sur appel et recouvre une partie du moniteur. Son rôle est d'imprimer en hexadécimal sur la machine à écrire le contenu d'une portion de la mémoire.

4.6210 - EXEMPLE

Messages système sur le télétype (voir page 109)

4.63 - LE MONITEUR DE LIAISON SUR IBM 1800

4.631 - PRESENTATION

Le moniteur de liaison n'est pas un noyau ; c'est l'ensemble :
- de charges-mémoire d'interruption (§ 4.222)
- de sous-programmes translatables,

résidants sur disque

Cette structure a été adoptée pour éviter de modifier le noyau du système de multiprogrammation de l'IBM 1800. Deux charges-mémoire d'interruption répondent aux deux interruptions "système" générées par le moniteur IBM7.

Les sous-programmes translatables sont utilisables par tout programme voulant effectuer des échanges avec l'IBM7.

4.632 - LES CHARGES-MEMOIRE D'INTERRUPTION

a) Charge-mémoire de démarrage (ITDEM) ≃2500 mots

Elle est exécutée sur réception de l'interruption "CHARGEMENT MONITEUR", générée par le bootstrap (amorce) de démarrage de l'IBM7.

Le fichier SYST7 est recherché sur disque et envoyé vers l'IBM7 ; deux tentatives sont effectuées avant de déclarer la liaison impossible. Le compte-rendu de l'opération est imprimé sur la machine à

```
SYS LD ..................................... Chargement du système


JOB:CALCD ..................................... Appel d'une tâche depuis le télétype
XQ JOB ........................................ Lancement d'exécution
WHAT'S YOUR PROBLEM?
                                              ..... Exécution
X'12F'-X'DEF'#X'F340'
WHAT'S YOUR PROBLEM?

1234/45+89*(12-789/54)=-151
WHAT'S YOUR PROBLEM?



JOB:CALCF
XQ JOB

(12,47653-COS(2,54E-12+ATG(LGN(LG10(1234*PI/E))))**4= 1.95191390E+0004



JOB:TOTO
XQ JOB                                        ..... Programme non résidant sur disque
FICHIER NON TROUVE


JOB:ESSAI
XQ JOB
CANAL OUA OCCUPE REQUETE REJETEE ..... Canal d'entrée 1800 occupé
```

PROGRAMME D'ACQUISITION

```
LOP FIC
LOP FIC ..... Chargement de 3 fichiers de compression
LOP FIC
XQ JOB ..... Chargement et exécution du programme
```

Exemple - MESSAGES SYSTEME

écrire de l'IBM 1800. "SYS LD" est imprimé sur le télétype IBM7.

b) Charge-mémoire "REQUETE MONITEUR" (ITSYS) ≃ 3000 mots

Elle répond à l'interruption "REQUETE MONITEUR" générée par le moniteur IBM7.

La requête est précisée par six mots d'information envoyés par l'IBM7.

La charge-mémoire teste l'occupation du canal d'entrée ; s'il est libre, elle lit les 6 mots d'information (Fig. 40) ; sinon, elle envoie un programme vers l'IBM7, imprimant sur le télétype : "CANAL QUATANT OCCUPE, REQUETE REJETEE".

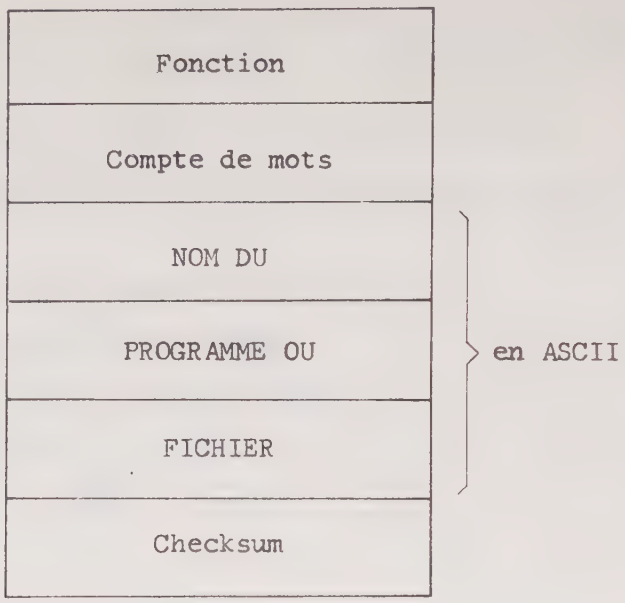


Figure 40 - INFORMATIONS SUR LA REQUETE

Les mots "fonction" et "compte de mots" ont été prévus pour étendre facilement les possibilités de la charge-mémoire.

Seule, la fonction "0" est reconnue : elle correspond à une demande de chargement d'un fichier ou d'un programme dont le nom est spécifié par les trois mots suivants (Fig. 40).

Le programme ou le fichier est recherché sur disque et envoyé vers l'IBM7 ; s'il n'est pas sur disque, un programme imprimant "FICHIER NON TROUVE" est envoyé vers l'IBM7.

Si une erreur est détectée (pas de réponse IBM7, erreur checksum, coupleur non programmé), un message est imprimé et la requête est annulée.

4.633 - LES SOUS-PROGRAMMES TRANSLATABLES

a) Programmation du coupleur (PMI7) ≃1000 mots

Le sous-programme PMI7 envoie les séquences d'ordres au coupleur MI7 / MI8. Il teste la compatibilité des ordres entre eux, et avertit le programme appelant en cas d'erreur.

Ses différentes possibilités sont :

- envoi d'informations (255 max.) vers le bus de programmation des modules,
- génération de l'interruption "REQUETE SYSTEME 1800",
- envoi d'informations (255 max.) vers l'IBM7 avec "REQUETE SYSTEME 1800" préalable,
- envoi d'informations (255 max.) vers l'IBM7,
- connexion IBM7 / canal d'entrée 1800,
- déconnexion IBM7 / canal d'entrée 1800,
- choix de la télémesure (FM ou PCM)
- connexion télémesure / IBM7
- remise à zéro du coupleur.

Les erreurs détectées par PMI7 sont :

- erreur hardware sur le canal
- ordres incompatibles
- pas de réponse du coupleur ou de l'IBM7

b) Envoi d'informations vers l'IBM7 (DISK7 / MASS7)

Par suite de la limitation imposée par le compteur de mots du canal (255 max.), des sous-programmes spéciaux de découpage doivent être utilisés :

-DISK7 effectue les transmissions disque 1800 / mémoire IBM7 ; il faut lui fournir le nom du programme ou du fichier à transmettre ; il renvoie un code indiquant :

. E/S bien effectuée
. fichier non trouvé sur disque
. autres erreurs (voir PMI7)

-MASS7 effectue dans les mêmes conditions les échanges mémoire 1800 / mémoire IBM7. En option, l'interruption "REQUETE SYSTEME 1800" peut être générée avant les échanges.

La structure des fichiers est donnée par la figure 41.

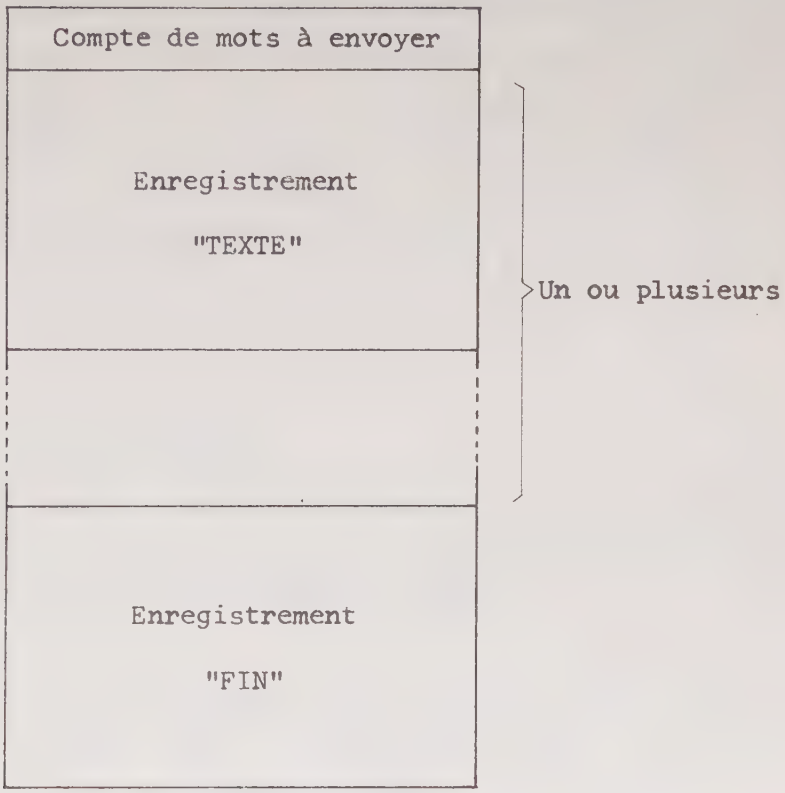


Figure 41 - STRUCTURE DES PROGRAMMES ET FICHIERS IBM7 STOCKES SUR DISQUE OU EN MEMOIRE 1800

c) Lecture d'informations venant de l'IBM7 (DIQUA, EBCII)

Le sous-programme DIQUA permet de lire un fichier (255 mots max.) venant de l'IBM7. Il annule l'entrée-sortie et renvoie un code d'erreur si le coupleur ou l'IBM7 ne répond pas.

Le sous-programme EBCII effectue les conversions:

- EBCDIC / ASCII
- ASCII / EBCDIC

4.64 - FONCTIONNEMENT DU SYSTEME

4.641 - CHARGEMENT DU MONITEUR IBM7

Une pression sur le bouton "IPL" provoque le chargement automatique dans les 128 premiers mots de la mémoire du bootstrap stocké sur ruban perforé. Il génère l'interruption "CHARGEMENT DU MONITEUR", initialise l'IBM7 et met en place le chargeur.

Sur réception de l'interruption, la charge-mémoire de démarrage ITDEM est appelée en zone variable ; elle recherche le moniteur sur disque et l'envoie vers l'IBM7. Celui-ci charge le moniteur mot par mot à chaque interruption créée par le canal de programmation, puis exécute le programme d'initialisation SYST7 lorsque le chargement est terminé. Le compte-rendu de l'opération est imprimé sur les deux machines à écrire (IBM7 et 1800). Si une erreur se produit (pas de réponse IBM7, erreur hardware, etc ...), la logique du canal est remise à zéro (blast reset) et un message est imprimé.

4.642 - PREPARATION DES PROGRAMMES

Les programmes IBM7 sont assemblés sur IBM 1800 par le traducteur MSP/7 et mis en forme par le programme EDIT ; le programme résultant est stocké en zone fixe sur disque (procédure standard).

Pour rendre le programme chargeable par le moniteur, un formattage est effectué par le programme RFORM ; le programme obtenu a la structure décrite dans § 4.633-b et est stocké en zone fixe sur disque.

Un assemblage-type est donné en annexe E.

4.643 - CHARGEMENT DES PROGRAMMES

Un programme est chargé dans l'IBM7 :

- soit sur la requête d'un opérateur
- soit sur la requête d'un programme

a) Requête d'un opérateur

- soit depuis la machine à écrire de l'IBM7 (cf. Traitement de la requête MAE, § 4.627). L'IBM 1800 reçoit l'interruption "REQUETE MONITEUR" ; la charge-mémoire "REQUETE MONITEUR" est appelée en

zone variable. Elle lit six mots venant de l'IBM7 lui précisant le nom du programme ; la procédure DISK7 est alors utilisée pour l'envoyer vers l'IBM7.

- soit depuis une unité de visualisation 2260. Les moniteurs d'écran ont été modifiés pour pouvoir envoyer des programmes vers l'IBM7 (MONI7).

b) Requête d'un programme
- programmes IBM7 exécutant la procédure LINK (§ 4.628)
- programme IBM 1800 exécutant la procédure DISK7 / MASS7 (§ 4.633-b)

4.65 - SOUTIEN DES UNITES 2260 A CLAVIER ET ECRAN

Le programme de préparation fait un usage intensif des unités 2260. Ces unités ne sont pas des périphériques standard et doivent être programmées en Assembleur.

Afin de faciliter l'écriture de la préparation, nous avons :

- d'une part modifié le compilateur et les entrées/sorties FORTRAN pour y inclure les 2260,
- d'autre part modifié les moniteurs d'écran pour que les programmes appelés sur un écran engagent le dialogue sur ce même écran.

4.651 - LE FORTRAN 2260

Plusieurs modifications ont dû être apportées pour que les unités 2260 soient accessibles par les ordres READ et WRITE :

a) Modification de la phase 1 du FORTRAN

Le traitement de la déclaration IOCS a été modifié pour que :

*IOCS (2260) soit reconnu à la place de *IOCS (PLOTTER,PAPERTAPE)

b) Modification des tables de numéros logiques d'unité

Deux tables LUN (Logical Unit Number) sont créées à la génération du système ; elles établissent une équivalence entre numéros logiques et numéros physiques ; quatre entrées ont été ajoutées, correspondant aux quatre 2260.

c) Modification des entrées/sorties FORTRAN

Les entrées/sorties "PAPERTAPE" sont normalement interdites, car elles n'ont pas été déclarées à la génération ; une modification permet de passer outre.

d) Modification du sous-programme d'entrées/sorties

Lorsque le compilateur reconnait *IOCS (2260), il demande le chargement des sous-programmes du lecteur/perforateur de ruban PAPEB/PAPTN. Ils sont translatables et chargés à la construction. PAPEB est le sous-programme de conversion EBCDIC/code ruban ; il a été remplacé par un sous-programme transparent. PAPTN, sous-programme d'entrées/sorties sur unité à ruban a été remplacé par un sous-programme de commande des 2260.

e) Possibilités

- Lecture avec cadrage automatique d'un mot en format I
- Lecture d'un nombre quelconque de mots en formats A, F ou E
- Ecriture d'une ligne avec effacement préalable

Le mot suivant une ouverture de parenthèse ou un saut de ligne dans l'ordre FORMAT est un mot de contrôle :

- '00' : effacement écran
- '01' à '12' : positionnement du curseur sur la ligne spécifiée
- 2X ou 'bb' : positionnement automatique du curseur

Un exemple de programmation est donné en annexe F.

4.652 - ALLOCATION DYNAMIQUE D'ECRAN

A la construction, les numéros d'écran de dialogue sont fixés une fois pour toutes : quel que soit l'écran d'appel, le programme engagera le dialogue sur un seul écran. Cette structure rigide crée un embouteillage autour de l'écran principal de la console. Pour y remédier, des modifications ont été apportées aux moniteurs d'écran et aux programmes.

a) Gestion des appels

Lorsqu'un programme est appelé depuis un écran, le nom du programme et le numéro du 2260 d'appel sont stockés en INSKEL COMMON, zone de communication des partitions.

b) Exécution des programmes

Chaque programme commence par un appel au sous-programme INI60 ; il effectue la recherche du numéro de 2260 dans la table du moniteur et le transmet au programme ; par défaut (saturation de la table, requête du moniteur du 2260-1), le 2260-1 est spécifié.

4.7 - LES PROGRAMMES D'ACQUISITION

4.71 - PRINCIPE DE L'ACQUISITION

Soit un format de télémesure défini par le tableau XII.

$\overline{S}$	A	B	C	B
S	A	B	D	B
S	A	B	E	B

Tableau XII

A chaque voie, $\overline{S}$, S, A, B, C, D, E, est associé un mot en mémoire IBM7 ; le fichier ainsi formé est appelé table de décommutation (DECOM). Le pointeur de la table(PDCOM) est remis à zéro sur synchronisation de format ($\overline{S}$) et est incrémenté à chaque interruption de mot ou de ligne (A, B, C, D, E, S). Le mot pointé contient l'adresse d'une zone de quatre mots où sont stockés tous les renseignements nécessaires à la compression : type d'algorithme, tolérance, référence, décalage, ...

L'ensemble des zones de 4 mots forme la table des caractéristiques (KARAK)

Dans la première version, sept algorithmes sont disponibles :

- acquisition du mot
- suppression du mot
- prédicteur fixe d'ordre zéro à référence
- prédicteur fixe d'ordre zéro sans référence
- prédicteur d'ordre zéro à ouverture flottante

- prédicteur d'ordre zéro à décalage simple
- prédicteur d'ordre zéro à décalage multiple
- interpolateur d'ordre zéro.

A chaque information retenue après compression, est adjoint un mot de 16 bits : l'identificateur, égal au contenu du pointeur de la table de décommutation (PDCOM). Ce mot servira à l'étape de décompression. Toutes ces informations sont stockées dans une file d'attente circulaire que l'IBM 1800 vient lire et archiver sur bande (Fig. 42).

Dans le système décrit, l'IBM7 est doublement esclave :

- d'abord de la télémesure, qui arrive à sa propre cadence ;
- ensuite de l'IBM 1800, qui envoie les ordres de départ, arrêt, fin, erreur 1800, etc ...

4.72 - ORGANISATION DES PROGRAMMES

L'acquisition avec compression de données se déroule en trois phases :

- la préparation
- l'initialisation
- l'acquisition avec compression

La première phase est totalement indépendante des autres ; elle est chargée de préparer les fichiers nécessaires :

- à la compression de données
- à la programmation des équipements électroniques.

Les fichiers sont envoyés sur disque dans des zones répertoriées et sur imprimante pour archivage.

La deuxième phase est l'initialisation de l'acquisition ; elle utilise les données stockées sur disque pour programmer les modules électroniques, construire les fichiers de compression DECOM et KARAK et les envoyer à l'IBM7.

Elle charge les programmes d'acquisition dans l'IBM 1800 et l'IBM7, établit et teste les connexions, et informe l'opérateur du résultat.

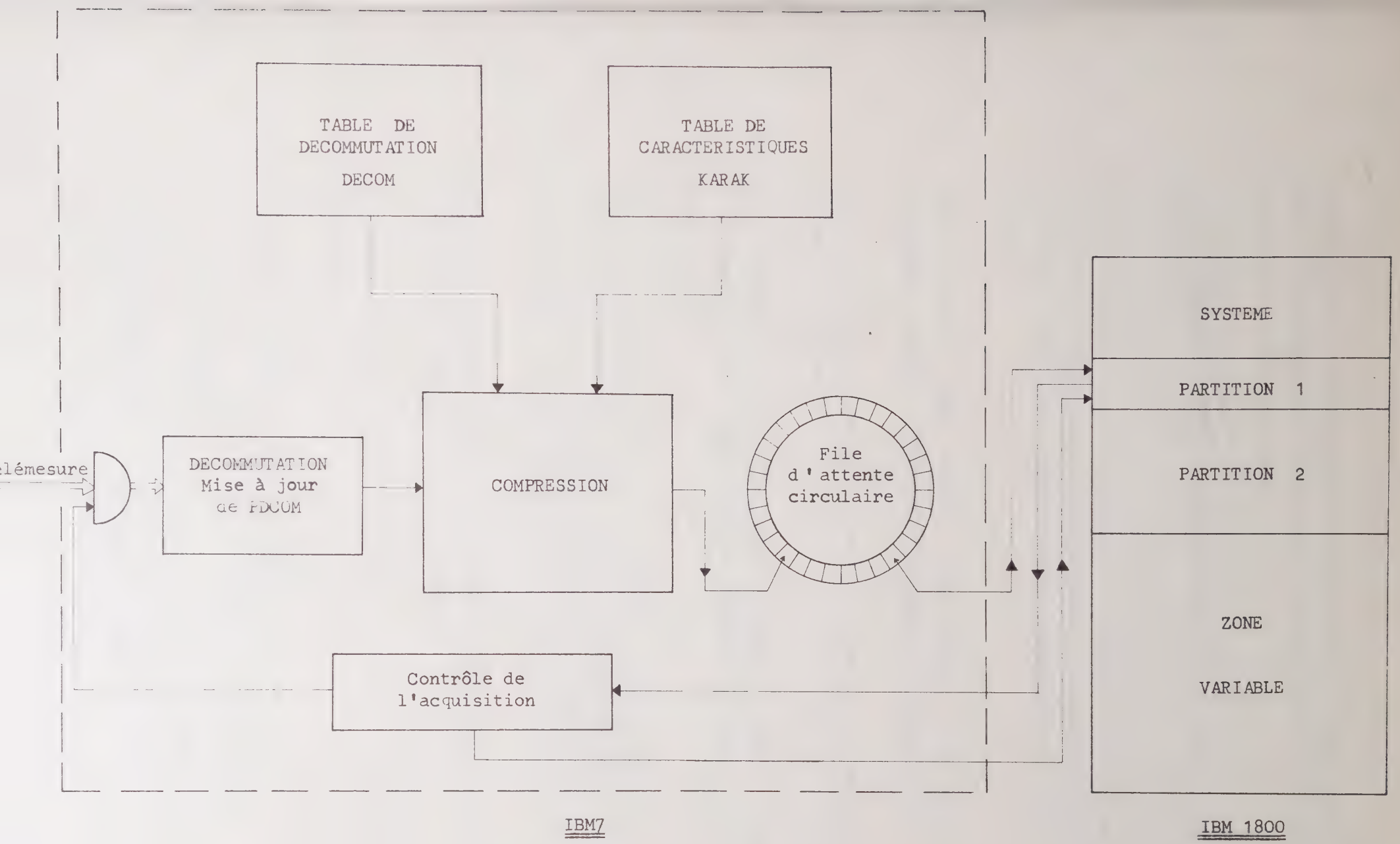


Figure 42 - PRINCIPE DE COMPRESSION

Elle écrit sur la bande magnétique une étiquette où sont consignées toutes les informations nécessaires à l'identification de la télémesure acquise et à la décompression.

En fin d'initialisation, le système est prêt et attend les ordres de l'opérateur.

La troisième phase est l'acquisition. A ce stade, tous les programmes sont à l'état dormant dans les deux machines ; ils seront activés par l'interruption de "DEPART ACQUISITION" générée depuis la console de commande.

Sur réception de l'ordre "DEPART", l'IBM 1800 met à jour des indicateurs et transmet l'ordre à l'IBM7 par l'intermédiaire du coupleur.

L'IBM7 enregistre le "DEPART" et envoie l'ordre de validation de la télémesure au coupleur.

Les interruptions d'acquisition arrivent alors à l'IBM7. Le programme lit le temps sur les interruptions de format et de ligne en PCM, de groupe en FM.

Les informations présentées par les modules électroniques sont traitées en fonction des ordres contenus dans les fichiers DECOM et KARAK. Si elles ne sont pas redondantes, elles sont transmises vers l'IBM 1800 qui les stocke sur bande magnétique.

L'interruption "ARRET" permet de stopper momentanément l'acquisition ; l'interruption "FIN" la clôt définitivement.

Les programmes ont été construits pour fonctionner de trois façons différentes :

- acquisition simple : toutes les informations sont lues et stockées sur bande magnétique sans apport d'informations supplémentaires ;
- décommutation simple : on opère une sélection parmi les voies de télémesure ; les voies retenues sont acquises sans compression.
- compression de données : chaque voie peut être traitée par les algorithmes de compression, ou seulement une partie, les autres étant soit supprimées, soit acquises sans compression.

Ces possibilités apportent peu de modifications pour un gain important en généralité.

Dans la préparation, l'utilisation de l'ordinateur IBM 1800 est du type "temps partagé" ; dans l'initialisation, elle est du type "temps réel, mode maître" : programmation d'équipements, échange d'informations entre les deux ordinateurs sans contrainte de temps. Dans l'acquisition, l'IBM 1800 travaille en "temps réel, mode esclave" : il doit acquérir et stocker avec un maximum de rapidité les informations envoyées par l'IBM7.

Suivant les phases, l'utilisation de la mémoire centrale est différente (Fig. 43).

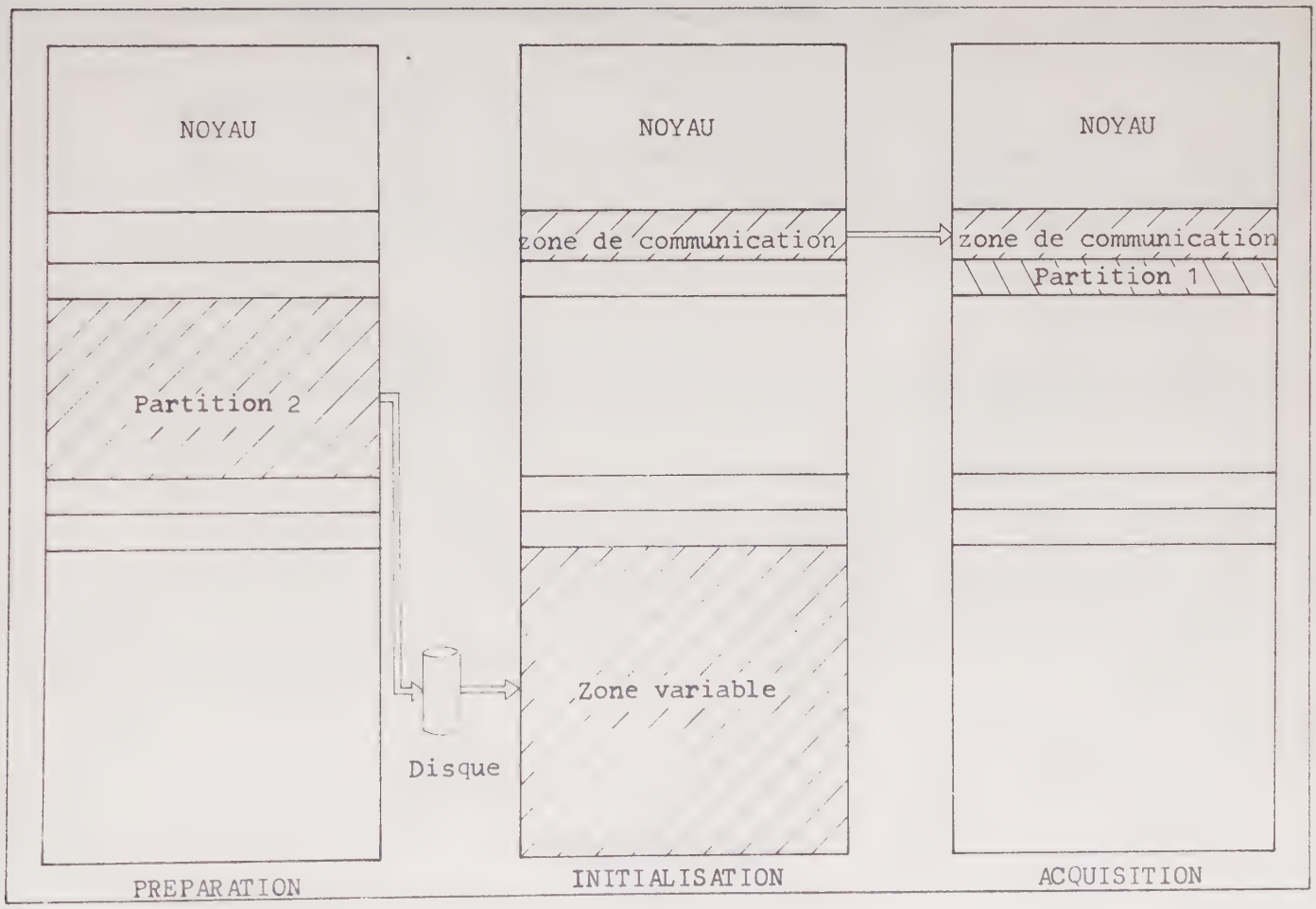


Figure 43 - OCCUPATION DE LA MEMOIRE DE L'IBM 1800

La mémoire de l'IBM7 est totalement occupée par les programmes de compression depuis le début de l'initialisation jusqu'à la fin de l'acquisition.

4.73 - PREPARATION STANDARD

La préparation standard permet de créer le fichier nécessaire à la programmation des équipements électroniques, elle s'exécute en zone variable et est entièrement conversationnelle : toutes les caractéristiques de la télémesure et les réglages des modules sont demandés à l'écran. Le fichier résultant est stocké dans une des 7 zones de préparation sur disque ; un catalogue des zones est mis à jour, indiquant que la zone est occupée et donnant le nom de la manipulation.

Nous utilisons le programme de préparation déjà existant.

4.74 - PREPARATION DE LA COMPRESSION (≃41000 mots)

4.741 - PRINCIPE

Pour réaliser une acquisition avec compression d'information, il est nécessaire de fournir au système d'acquisition un ensemble de renseignements lui permettant d'effectuer :

- la décommutation de la télémesure
- le traitement de chaque paramètre physique suivant les directives de l'analyste.

Le programme de préparation permet de recueillir toutes ces informations : l'unité 2260 à clavier et écran est utilisée pour dialoguer avec l'opérateur. Les données fournies sont testées, prétraitées et rangées dans une zone de préparation.

Le nombre d'informations à échanger peut être très élevé : en effet, un format PCM comporte souvent un grand nombre de voies (une centaines par exemple) à traiter de façons différentes. Le programme a été construit en conséquence : on a utilisé au maximum les périodicités dans le format de télémesure, afin de réduire le dialogue. Les possibilités de reprise, modification, utilisation d'informations déjà stockées pour d'autres manipulations sont nombreuses et expliquent la complexité du programme (41000 mots en trois segments).

Le langage utilisé est le FORTRAN 1800 modifié (§ 4.65).

Le programme est exécuté en partition 2, pour profiter des suspensions

de niveau pendant les entrées/sorties (cette possibilité n'existe pas en zone variable). Pour une acquisition sans compression, cette préparation n'est pas à faire. Les organigrammes de la préparation sont en annexe G.

4.742 - ZONES DE PREPARATION

Les renseignements fournis par l'opérateur sont enregistrés sur disque dans une zone de préparation ; il en existe cinq, pour disposer de préparations de cinq manipulations différentes. Le fichier logique constitué par l'ensemble des zones est partageable ; en particulier, il sera lu par le programme d'initialisation.

Chaque zone est constituée :

- d'une entrée dans le catalogue des zones
- d'une table de décommutation
- d'une table des caractéristiques
- d'une table de pointeurs

4.743 - CATALOGUE DES ZONES (SCOMM)

Un secteur du disque 1800 (320 mots) est réservé au catalogue. Il comprend cinq entrées de 40 mots chacune. Les 120 mots restants sont utilisés pour stocker des informations diverses :

- nombre de fichiers de préparation déclarés (1 à 5)
- adresses absolues de programmes de compression IBM7 (utilisées par le programme d'initialisation).

Chaque entrée est constituée par : (Fig. 44)

- un mot d'état de la zone (libre/occupé) ;
- une clé : zone permanente ou temporaire ; une zone temporaire est libérée après l'acquisition ;
- le nom de l'expérience (40 caractères) ;
- le nom de l'opérateur (10 caractères) ;
- le nombre de mots d'information dans le format (en PCM) ou dans le groupe (en FM) : NMF ;
- le nombre de paramètres physiques différents (nombre de voies différentes) : NPP ;

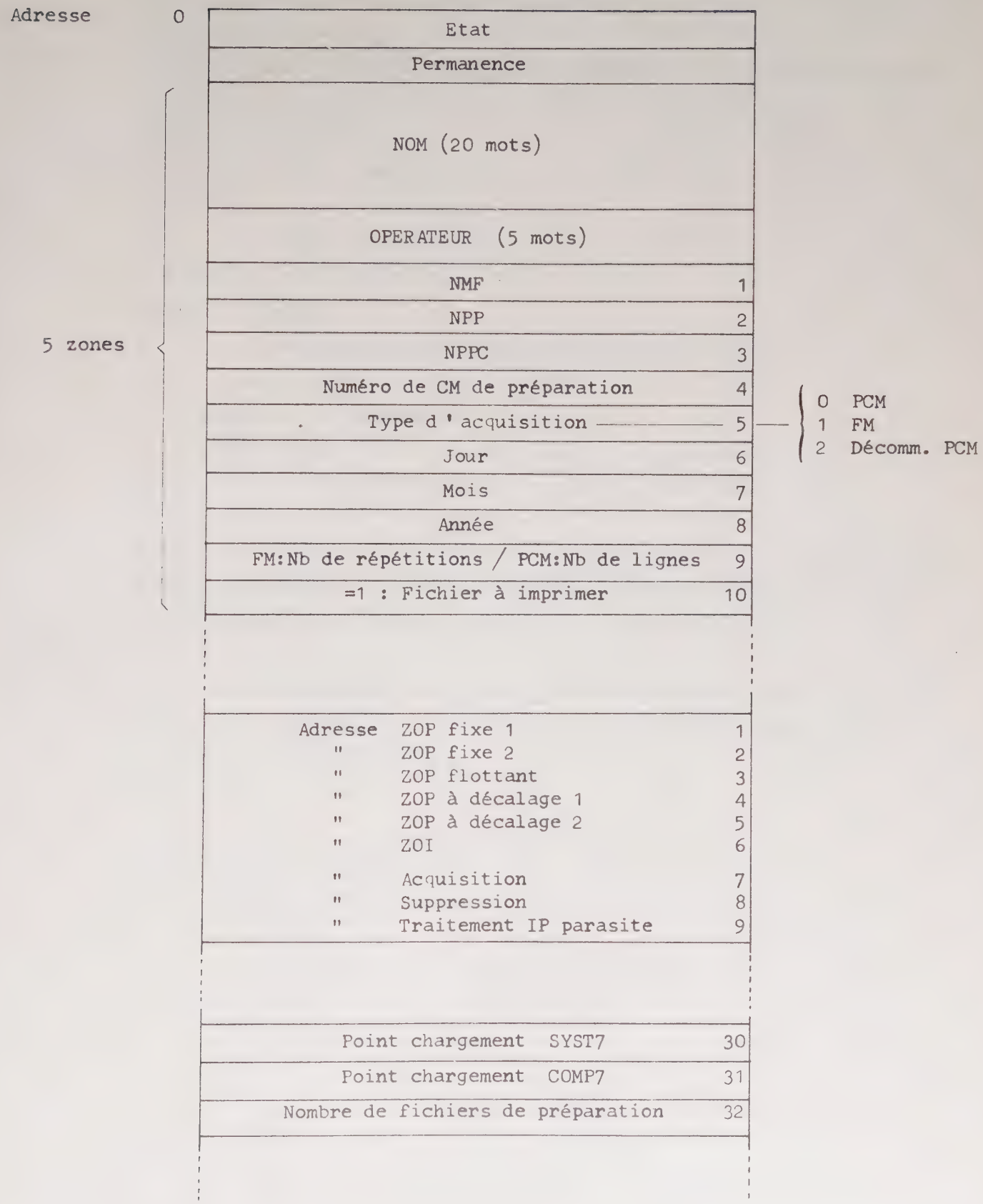


Figure 44 - CATALOGUE DES ZONES

- le nombre de paramètres physiques comprimés (NPPC) : c'est le nombre de paramètres auxquels est appliqué un algorithme de compression ; ne sont pas compris les paramètres supprimés et les paramètres acquis sans compression ;
- le numéro de la charge-mémoire de préparation (en prévision d'une extension ;
- le type d'acquisition :
  - 0 = PCM compression
  - 1 = FM compression
  - 2 = PCM décommutation
- la date de création en trois mots ;
- un mot indiquant :
  - . le nombre de répétitions des voies en FM
  - . la longueur des lignes en PCM
- un indicateur d'impression :
  - 0 = rien
  - 1 = fichier à imprimer.

L'accès au catalogue en écriture ou lecture est fait par l'intermédiaire d'un sous-programme à 9 points d'entrée, suivant les fonctions désirées (ETATZ, PERMZ, NOMZ, PARAZ, LABS, CREEZ, WABS, LIBZ, MODZ).

Toutes ces informations sont fournies par l'opérateur dans la première partie de la préparation ; ils servent tout au long du programme, et également à l'initialisation.

4.744 - TABLE DE DECOMMUTATION

Soit une télémesure décrite par le format de la figure 45.

$\overline{S}$	A	B	C	B
S	A	B	D	B
S	A	B	E	B

Figure 45

$\bar{S}$ et S sont les mots de synchronisation, A, B, C, D, E, les paramètres physiques. En association à chaque paramètre, un numéro variant de 1 à N ; on obtient (Figure 46)

1	2	3	2
1	2	4	2
1	2	5	2

Figure 46 - TABLE DE DECOMMUTATION ASSOCIEE

la table de décommutation : Elle a pour dimension NMF (nombre de mots dans le format), décrit entièrement la télémesure ; elle n'apporte aucune information sur la compression et peut donc être utilisée pour plusieurs expériences ; le programme de préparation comportera donc une option "table de décommutation déjà décrite dans la zone i" avec recopie automatique.

4.745 - TABLE DE CARACTERISTIQUES ET TABLE DE POINTEURS

Chaque paramètre physique peut être traité de façon différente. Les caractéristiques des traitements sont empilées dans la table des caractéristiques ; l'accès à cette table se fait par l'intermédiaire de la table de pointeurs.

a) Table des pointeurs

Elle a pour dimension NPP (nombre de paramètres). A chaque paramètre, elle associe :

- 0 s'il est supprimé
- -1 s'il est acquis sans compression
- son numéro d'apparition dans la table des caractéristiques s'il est comprimé.

b) Table des caractéristiques

A chaque paramètre physique comprimé est associé un groupe de quatre informations :

- le code de l'algorithme de traitement
- la tolérance de l'algorithme de traitement
- la valeur de référence (suivant l'algorithme)
- le décalage (suivant l'algorithme)

la taille de la table est 4 x NPPC.
Les codes des algorithmes sont :

- 0 suppression
- 1 prédicteur fixe sans référence
- 2 prédicteur fixe avec référence
- 3 prédicteur flottant
- 4 prédicteur à décalage simple
- 5 prédicteur à décalage multiple
- 6 interpolateur
- 7 acquisition sans compression

4.746 - LIMITATIONS DUES A LA TAILLE DES FICHIERS

La taille maximale du format de télémesure est de 1280 mots.
Le nombre de paramètres physiques différents est limité à 640.
Le nombre maximal de paramètres physiques comprimés est 160.

Ces tailles semblent suffisantes ; elles peuvent être augmentées sans grande difficulté.

4.747 - CAS PARTICULIER DES DECOMMUTATIONS

On effectue une décommutation lorsque les seuls algorithmes d'acquisition et de suppression sont utilisés. Cette forme simple de compression est très utile pour séparer les signaux technologiques des signaux scientifiques, isoler une seule voie, etc... Dans ce cas, seule une table de décommutation est nécessaire.

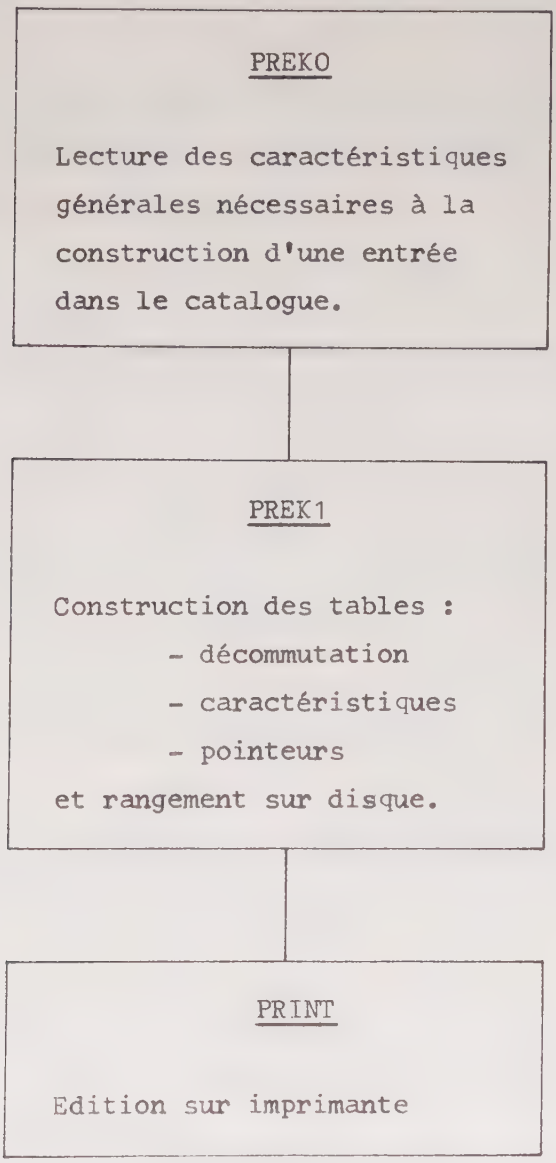
Les signaux à conserver sont marqués d'un 1,
les signaux à supprimer sont marqués d'un 0.

4.748 - LE PROGRAMME DE PREPARATION

Le programme de préparation permet :

- de créer une zone
- de modifier une zone existante
- de créer une zone en utilisant une table de décommutation déjà définie dans une autre zone
- de créer une zone pour une décommutation simple.

Il est constitué de trois segments qui se succèdent en mémoire :



a) PREKO (7520 mots)

Deux options apparaissent en tête de programme :

- création d'un fichier de préparation
- modification d'un fichier existant

Dans le premier cas, une zone est attribuée, puis tous les renseignements nécessaires à la construction d'une entrée dans le catalogue sont demandés.

Dans le deuxième cas, les modifications à apporter à l'entrée existante sont demandées.

La création ou la modification d'une entrée est alors exécutée, après test de compatibilité et test de demande de reprise (touche "RAPPEL 2260").

S'il y a création de fichier, le programme demande si la table de décommutation est déjà définie dans une autre zone, et mémorise le numéro de la zone si c'est le cas.

b) PREK1 (8238 mots)
Les renseignements obtenus par PREKO sont transmis à PREK1 par l'intermédiaire du COMMON de la partition 2.

S'il s'agit d'une création de fichier, tous les renseignements nécessaires à la construction des trois tables de compression sont demandés à l'opérateur, traités et rangés sur disque.

Si la table de décommutation est déjà définie dans une autre zone, elle est recopiée et cette étape est supprimée.

S'il s'agit d'une modification, un sous-programme spécial lit les anciennes caractéristiques à modifier, les affiche sur l'écran, demande les nouvelles et met à jour la table.

Le troisième segment est alors mis dans la file d'attente de la zone variable, afin d'éviter les conflits sur l'imprimante (normalement affectée au batch processing)

c) PRINT (7680 mots)
PRINT liste sur l'imprimante tous les renseignements contenus dans les tables (listes ci-après)

4.749 - PROGRAMMES DE SERVICE

a) Liste d'une zone (LISKO - 4910 mots)

L'édition d'une zone déjà créée peut être exécutée par LISKO ; les zones sont repérées par leur nom : A, B, C, D, E ; le nom de la manipulation est affiché pour confirmation.

b) Visualisation de l'état des zones (VISKO - 5000 mots)

VISKO provoque l'édition sur un écran de visualisation de la date de création des zones occupées et du nom de l'expérience.

c) Copie de zones (COPKO - 7640 mots)

Le programme COPKO effectue la copie d'une zone source dans une zone destination.

Le nom de l'opérateur, de l'expérience et la date sont modifiés.

L'utilisation de COPKO est intéressante pour disposer de plusieurs zones relatives à une même expérience, ne se différenciant que par le traitement de quelques paramètres.

La zone recopiée par COPKO peut alors être modifiée rapidement en exécutant le programme de préparation PREKO.

EXEMPLE 1 - Page 1

```
**********************************

*                                *

*    COMPRESSION D INFORMATIONS  *

*                                *

**********************************
```

FICHIER DE PREPARATION
****

DATE	27- 4- 1973
OPERATEUR	JPK
FICHIER DE PREPARATION	A
INDICATEUR DE PERMANENCE	0
IDENTIFICATEUR DU FICHIER	EXEMPLE DE COMPRESSION EN PCM
TYPE DE TELEMESURE	PCM
NOMBRE DE MOTS PAR FORMAT	64
NOMBRE DE PARAMETRES PHYSIQUES	8
NOMBRE DE PARAMETRES PHYSIQUES COMPRIMES	6

EXEMPLE 1 - Page 2

```
************************************
*                                  *
*     TABLE DE DECOMMUTATION       *
*                                  *
************************************
```

LIGNE 1 =	1	2	3	2	8	3	2	7	2	1	5	6	5	2	8	2
LIGNE 2 =	1	2	4	2	8	3	2	7	2	3	5	6	5	2	8	2
LIGNE 3 =	1	2	5	2	8	3	2	7	2	5	5	6	5	2	8	2
LIGNE 4 =	1	2	6	2	8	3	2	7	2	7	5	6	5	2	8	2

****

* *

* TABLE DES CARACTERISTIQUES *

* *

****

PARAMETRE	1	ALGORITHME	0	TOLERANCE	0	REFERENCE	0	DECALAGE	0
PARAMETRE	2	ALGORITHME	1	TOLERANCE	12	REFERENCE	0	DECALAGE	0
PARAMETRE	3	ALGORITHME	3	TOLERANCE	13	REFERENCE	0	DECALAGE	0
PARAMETRE	4	ALGORITHME	4	TOLERANCE	14	REFERENCE	0	DECALAGE	2
PARAMETRE	5	ALGORITHME	5	TOLERANCE	3	REFERENCE	0	DECALAGE	1
PARAMETRE	6	ALGORITHME	7	TOLERANCE	0	REFERENCE	0	DECALAGE	0
PARAMETRE	7	ALGORITHME	6	TOLERANCE	44	REFERENCE	0	DECALAGE	0
PARAMETRE	8	ALGORITHME	6	TOLERANCE	20	REFERENCE	0	DECALAGE	0

```
**********************************

*                                *

*DECOMMUTATION D INFORMATIONS PCM *

*                                *

**********************************
```

FICHIER DE PREPARATION
****

DATE	27- 4- 1973
OPERATEUR	JPK
FICHIER DE PREPARATION	B
INDICATEUR DE PERMANENCE	0
IDENTIFICATEUR DU FICHIER	EXEMPLE DE DECOMMUTATION EN PCM
NOMBRE DE MOTS PAR FORMAT	32

```
**************************************
*                                    *
*      TABLE DE DECOMMUTATION        *
*                                    *
**************************************
```

LES PARAMETRES ACQUIS SONT REPERES PAR UN 1
LES PARAMETRES SUPPRIMES SONT REPERES PAR UN 0

LIGNE 1 =	1	0	1	0	1	1	1	1
LIGNE 2 =	0	0	1	0	1	1	1	1
LIGNE 3 =	1	0	1	1	1	0	1	1
LIGNE 4 =	0	0	1	0	1	0	1	1

4.75 - INITIALISATION DE LA COMPRESSION (18640 mots)

4.751 - PRINCIPE

Lorsque les deux préparations sont terminées, tous les renseignements nécessaires à l'acquisition sont réunis et enregistrés sur disque.

L'initialisation les utilise pour mettre en œuvre toute l'installation.

Les étapes principales du programme sont :

- programmation des équipements électroniques
- traitement des fichiers de compression et envoi vers l'IBM7
- envoi du programme de compression vers l'IBM7
- initialisation de l'IBM 1800
- établissement de toutes les connexions.

A toutes les étapes, des tests de compatibilité ou de bonne exécution sont effectués.

En cas de défaut, l'opérateur est averti et la fin de l'initialisation est forcée si la panne est grave.

Toute la partie temps réel du programme est écrite en assembleur ; seul le traitement des fichiers de compression est en FORTRAN. L'initialisation se déroule en zone variable ; elle est appelée par le moniteur d'écran.

Les organigrammes se trouvent en annexe H.

4.752 - INITIALISATION STANDARD

Toutes les initialisations ont un segment commun : l'initialisation standard : le nom de la zone de préparation standard et le type d'acquisition (normale, avec IBM7, avec présélection, ...) sont demandés à l'écran.

Le programme met alors à jour des indicateurs dans la zone commune du résident (INSKEL COMMON), envoie les ordres de programmation à la Base de Temps (commune aux diverses chaînes d'acquisition) et appelle en mémoire le deuxième segment, particulier à la chaîne IBM7.

4.753 - PROGRAMMATION DES MODULES

Les modules électroniques utilisés par l'IBM7 sont connectés sur le bus de programmation du coupleur MI7/MI8.

Seule la programmation des modules PCM est prévue ; le convertisseur analogique/digital est règlé à la main.

Les tables de programmation générées par le programme de préparation standard ne sont pas compatibles avec les modules Intertechnique de la chaîne de compression.

Une conversion bit à bit est effectuée sur environ 20 mots de commande. Si la conversion est impossible, un message avertit l'opérateur, qui doit alors effectuer la programmation à la main. Si la conversion est possible, les ordres sont envoyés vers les modules par un sous-programme du moniteur de liaison.

4.754 - TRAITEMENT DES FICHIERS CREES PAR LA PREPARATION DE LA COMPRESSION

Cette étape est sautée si l'on effectue une acquisition sans compression. Les fichiers créés pendant la préparation de la compression ne sont pas exploités directement par l'IBM7.

Pour accélérer le processus de compression, les fichiers sont prétraités par l'IBM 1800, puis envoyés vers l'IBM7 :

a) Traitement de la table des caractéristiques

Les codes des algorithmes sont remplacés par les adresses absolues de ceux-ci dans le programme de compression IBM7. En tête de la table sont rajoutés trois mots :

- l'adresse absolue du traitement des interruptions d'acquisition parasite ;
- l'adresse absolue de l'algorithme d'acquisition sans compression ;
- l'adresse absolue de l'algorithme de suppression.

Toutes ces informations dépendent de la structure et de l'implantation en mémoire IBM7 du programme de compression.

Afin de faciliter les modifications ou les extensions, toutes les adresses absolues des algorithmes sont relevées après assemblage et inscrites dans la portion libre qui suit le catalogue des zones sur disque.

Le programme AJOUR permet de modifier ces informations par dialogue avec l'écran.

Le programme d'initialisation vient lire ces données pour traiter les tables.

b) Traitement de la table de décommutation

Les tables de décommutation et de pointeurs sont fusionnées et translatées.

L'adresse d'implantation en mémoire IBM7 de la table des caractéristiques est calculée ; chaque mot de la table de décommutation est alors remplacé par l'adresse absolue :

- de la zone correspondante de la table des caractéristiques si le paramètre est comprimé ;
- des mots 2 et 3 de la table des caractéristiques si le paramètre est acquis ou supprimé.

Un mot supplémentaire est ajouté au bas de la table de décommutation, pointant sur le premier mot de la table des caractéristiques, réservé aux parasites.

Le point d'entrée de la table de décommutation est communiqué à l'IBM7 pour qu'il initialise ses pointeurs.

Les tables ainsi créées sont sauvegardées sur disque et envoyées vers l'IBM7 par le moniteur de liaison.

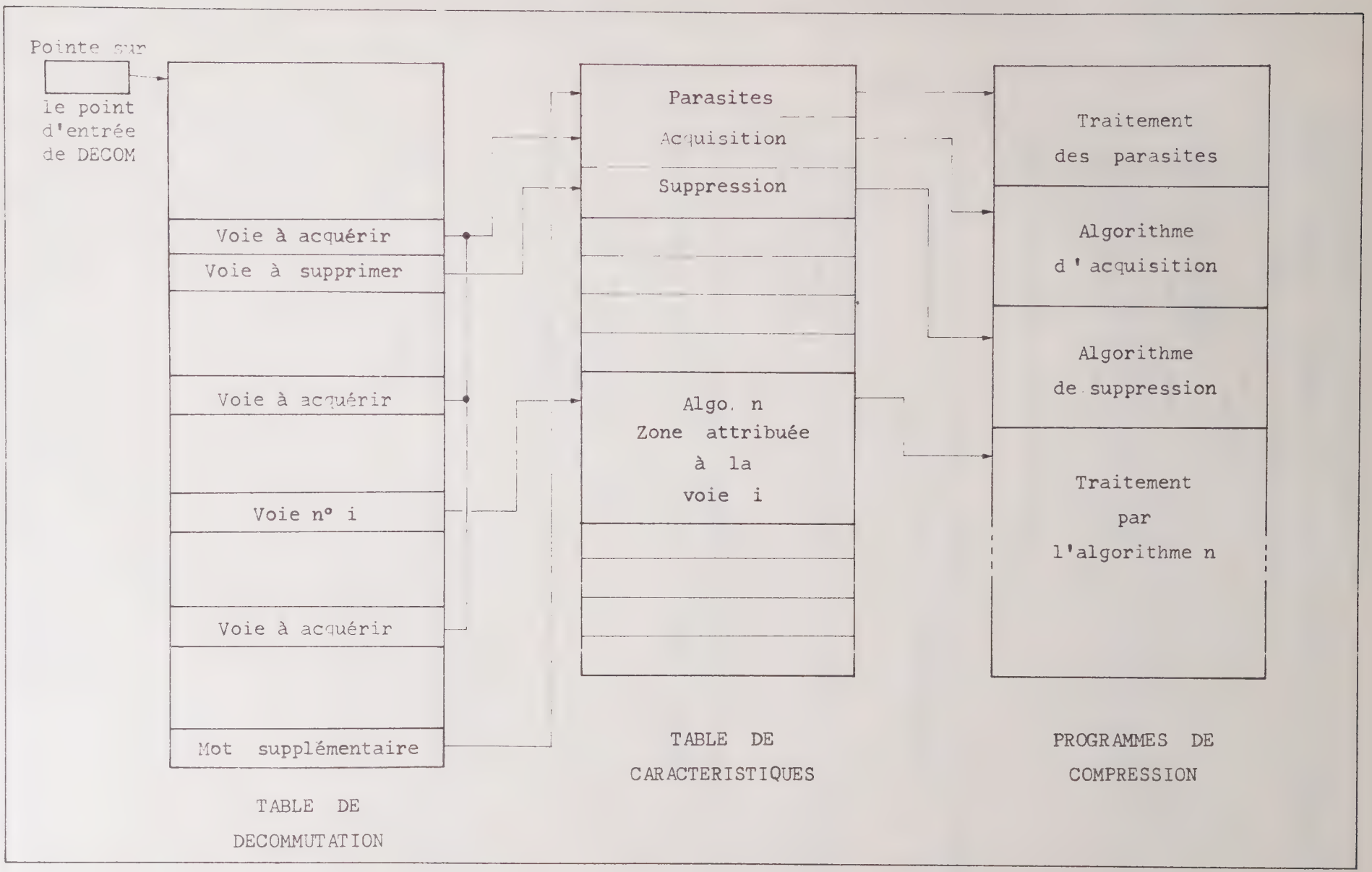


Figure 47 - RELATIONS ENTRE TABLES ET PROGRAMMES DE COMPRESSION

4.755 - ETIQUETTES DE BANDE MAGNETIQUE

Afin d'identifier la bande et de pouvoir exécuter la décompression, deux étiquettes sont écrites en début de bande :

a) Etiquette standard

Elle est formée de deux enregistrements physiques de mots contenant toutes les informations nécessaires à l'identification et au traitement des acquisitions sans compression.

Deux informations ont été ajoutées :

- L'une définit la télémesure (compression PCM ou FM, décommutation PCM)
- L'autre donne la taille de la table de décommutation.

b) Etiquette spéciale

Cette étiquette n'est pas présente si l'on effectue une acquisition sans compression.

Pour une acquisition avec compression, elle est formée de trois enregistrements physiques (640 - 1280 - 640 mots) contenant :

- la table des caractéristiques
- la table de décommutation
- la table des pointeurs

telles qu'on les trouve dans le fichier de préparation. Si l'acquisition est une décommutation simple, seule la table de décommutation est écrite sur bande.

4.756 - PREPARATION DE L'IBM 1800

Le traitement des interruptions et des informations envoyées par l'IBM7 est exécuté par un ensemble de sous-programmes d'interruption construits pour la partition 1 (partition des acquisitions rapides). Cet ensemble (Special Area, ou SPAR) est chargé en mémoire par l'initialisation.

Les deux tables "flip-flop" servant à lire les données et à les envoyer sur bande sont construites dans la zone de communication du résident ; on y inclut en particulier des ordres aux canaux (comptes de mots, adresses de registres, chaînage, etc ...) (Annexe I).

Dans cette même zone, des indicateurs sont mis à jour ; le nom de la charge mémoire de reprise en cas de panne système (RELOAD) est mise en garde.

Le système d'acquisition 1800 est alors en place.

4. 757 - ENVOI DU PROGRAMME DE COMPRESSION ET CONNEXIONS

Le nom du programme d'acquisition est demandé à l'écran ; il est alors transmis à l'IBM7. A la réception du programme, l'IBM7 génère une interruption vers le 1800.

Si cette interruption n'est pas reçue, l'IBM 1800 imprime :

" PAS DE REPONSE IBM7 "

et force une FIN D'ACQUISITION.

Si cette interruption est reçue, l'IBM 1800 établit les connexions télémesure / IBM7 / IBM 1800 au niveau du coupleur. Il avertit l'opérateur que le système est prêt à démarrer.

4. 758 - ERREURS DANS L'INITIALISATION

A tous les niveaux des tests sont effectués :

- Convertibilité des tables de programmation des équipements électroniques
- Compatibilité des deux fichiers de préparation
- Bonne exécution des entrées/sorties vers l'IBM7, le coupleur et la bande magnétique, etc...

Suivant la gravité de l'erreur :

- un message est imprimé et l'ordre en défaut est sauté,
- un diagnostic est imprimé et l'initialisation est arrêtée en déclenchant une interruption programmée sur le niveau 16 bit 5.

La charge-mémoire d'interruption (L1605) remplace l'initialisation en zone variable. Tous les indicateurs sont remis à zéro ; la partition 1 est libérée.

Trois fins de fichier (EOF) sont imprimées sur la bande d'acquisition ; elle est alors rebobinée et l'unité est libérée.

Le message :

" FIN D'ACQUISITION SUR SYST7 "

indique à l'opérateur le caractère irréversible de l'erreur.

4.76 - PROGRAMMES D'ACQUISITION SUR IBM 1800

4.761 - PRINCIPE

La SPAR d'acquisition 1800 (972 mots), écrite en Assembleur, est optimisée pour permettre les cadences les plus élevées possibles. Son rôle principal est de lire les informations transmises par l'IBM7 et de les écrire sur bande magnétique. Elle utilise en alternance deux grandes tables : pendant que l'une se remplit, l'autre est vidée sur bande.

Si un dépassement de cadence se produit, le canal d'acquisition est arrêté ; l'IBM7 empile les informations dans sa file d'attente ; lorsque la bande est libre à nouveau, le rangement reprend. Le fonctionnement de la SPAR est entièrement commandé par les interruptions.

Elle traite :

- les interruptions de la console de commande (Départ, Arrêt, Fin)
- les interruptions générées par l'IBM7 (prêt IBM7, erreur fatale sur IBM7, saturation IBM7)
- les interruptions des canaux (canal d'entrée de données, canal de la bande magnétique)
- une interruption programmée.

Par interruptions programmées, la SPAR peut déclencher l'exécution en zone variable de deux charges-mémoire d'interruption :

- L1602 recharge la table des caractéristiques dans l'IBM7
- L1605 arrête définitivement l'acquisition.

L'indicateur INDA1 (INSKEL COMMON) résume l'état de l'acquisition (Attente ; Départ exécuté ; Arrêt temporaire demandé, exécuté ; Fin demandée,

exécutée). Il est mis à jour par toutes les routines d'interruption.

Les organigrammes se trouvent en annexe J.

4.762 - TRAITEMENT DES INTERRUPTIONS DE LA CONSOLE

a) Départ acquisition

Le message "DEPART SYST7" est imprimé sur la machine à écrire 1053, réservée au temps réel.

Le superviseur d'interruption est modifié pour accélérer la reconnaissance de l'interruption fin de table de la bande magnétique.

L'ordre est transmis à l'IBM7.

b) Arrêt temporaire

Le message "ARRET SYST7" est imprimé. L'ordre est envoyé à l'IBM7, puis une interruption programmée est commandée sur un niveau inférieur à celui de l'interruption "PRET IBM7".

Le programme correspondant boucle en testant la réponse de l'IBM7 ; si, après temporisation, l'IBM7 n'a pas répondu, une fin d'acquisition est forcée.

c) Fin d'acquisition

Le message "ARRET DEFINITIF SYST7" est imprimé. La séquence d'ordre est identique à celle de l'arrêt temporaire.

4.763 - TRAITEMENT DES INTERRUPTIONS ENVOYEES PAR L'IBM7

a) PRET IBM7

L'IBM7 répond aux interruptions ARRET et FIN par un "PRET IBM7". Lorsque le "PRET" arrive, l'IBM7 a exécuté l'ordre et a terminé les transferts IBM7/IBM 1800. Si le "PRET" arrive après un arrêt temporaire, la routine teste si l'acquisition est une acquisition avec compression ; si oui, elle crée une interruption programmée pour recharger l'IBM7 (L1602).

Si le "PRET" arrive après un arrêt définitif, la dernière table en cours est vidée sur bande magnétique, et une interruption programmée est créée pour arrêter l'acquisition (L1605).

Lorsque l'acquisition n'est pas commencée (initialisation en cours) ou lorsqu'elle est suspendue (rechargement de l'IBM7 après un arrêt), l'indicateur ICOMP est mis à jour sur réception de "PRET IBM7".

b) Erreur fatale sur IBM7

Un message d'erreur est imprimé ; la fin d'acquisition est forcée par interruption programmée.

c) Saturation IBM7

Neuf saturations momentanées de la file d'attente de sortie de l'IBM7 sont autorisées. A la dixième, une interruption programmée provoque la fin d'acquisition.

4.764 - TRAITEMENT DES INTERRUPTIONS DES CANAUX

a) Canal d'entrée

Le canal d'entrée génère une interruption

- en fin de table
- en cas d'erreur

S'il s'agit d'une erreur, un indicateur est positionné et la fin d'acquisition est forcée par interruption programmée.

S'il s'agit d'une interruption fin de table, l'écriture sur bande est lancée, et le canal d'entrée est relancé sur l'autre table.

b) Canal de bande

La fin de table n'est pas traitée (sortie immédiate). En cas d'erreur bande, un indicateur est positionné et l'arrêt définitif est provoqué par une interruption programmée.

4.765 - RECHARGEMENT DE L'IBM7 (L1602 - 4000 mots)

Au cours de l'acquisition, la table des caractéristiques est altérée dans l'IBM7 ; après un arrêt temporaire, elle doit être rechargée. La charge-mémoire d'interruption L1602 rétablit les connexions standard sur le coupleur pour permettre un dialogue "système".

La table des caractéristiques, sauvegardée sur disque par l'initialisation, et le programme de compression sont envoyés vers l'IBM7. Les connexions sont rétablies ; un message en avertit l'opérateur.

4.766 - ARRET DEFINITIF DE L'ACQUISITION (L1605 - 1414 mots)

Cette charge-mémoire est exécutée en zone variable lorsque l'interruption programmée de niveau 16 bit 5 générée par la SPAR d'acquisition est reconnue.

Elle rétablit les connexions "système" dans le coupleur, arrête le canal d'acquisition, remet à zéro tous les indicateurs d'acquisition et provoque le chargement du programme L1600. Celui-ci interprète divers codes d'erreur et imprime les messages correspondants sur la machine à écrire ; trois marques de bande (EOF) sont écrites et la bande est rebobinée.

La partition et la zone variable sont alors libérées.

4.767 - CHARGE-MEMOIRE DE RELOAD

Dans les cas d'erreurs graves survenant dans une partition ou dans la zone variable, le système MPX effectue la procédure RELOAD. Les interruptions sont masquées quelques secondes, les canaux arrêtés, ...

La procédure RELOAD se termine par le déclenchement de la charge-mémoire de RELOAD. Si une acquisition sur IBM7 est en cours, ce programme (RACKO) imprime un message d'erreur sur la machine, avertit l'IBM7 par une interruption, et déclenche par interruption programmée la fin de l'acquisition.

4.77 - PROGRAMMES DE COMPRESSION SUR IBM7

4.771 - UTILISATION DE LA MEMOIRE IBM7

La mémoire - utilisateur, soit environ 5600 mots, est entièrement occupée par les programmes et les fichiers d'acquisition : Fig. 48.

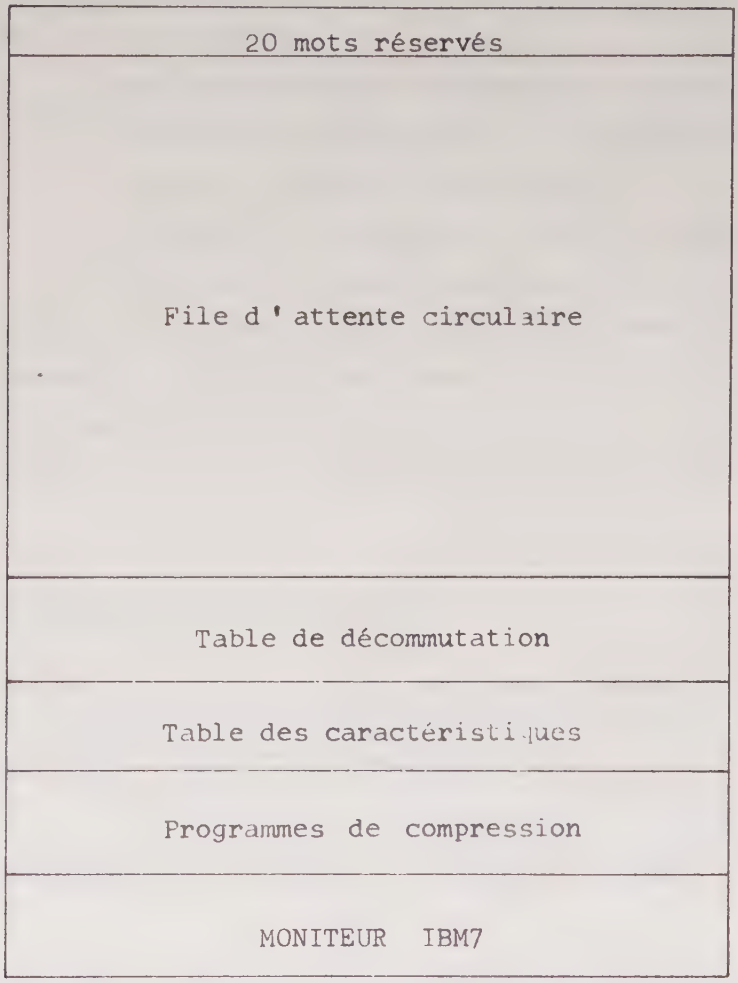


Figure 48 - MEMOIRE IBM7

Le programme de compression est chargé au-dessus du moniteur. Les points de chargement des tables sont calculés en fonction de leur longueur par le programme d'initialisation sur IBM 1800 pour qu'il n'y ait pas de place perdue.

Tout le reste de la mémoire, à l'exception des 20 mots réservés, est alloué à une file d'attente.

4.772 - PRINCIPE DU PROGRAMME

Le programme de compression est écrit en Assembleur IBM7 ; il occupe 700 mots, soit environ 650 instruction. La durée d'exécution de chaque séquence a été systématiquement minimisée :

- par une analyse rigoureuse des algorithmes
- par l'emploi des instructions les plus rapides de l'IBM7, ou d'instructions ayant plusieurs effets :
  - . instructions entre registres : 400 ns
  - . chargement/déchargement de l'accumulateur dans le Registre d'Adresse Instruction
  - . échange de l'accumulateur avec un registre
  - . chargement d'un mot mémoire avec remise à zéro
- par la duplication de séquences pour éviter les ordres de branchement
- par l'ordonnancement général du programme pour éliminer les instructions longues exigeant au moins deux cycles de base
- par un câblage particulier des interruptions pour accélérer leur reconnaissance.

Le programme est constitué de deux blocs :

- l'initialisation,exécutée au moment du chargement dans l'IBM7
- la partie temps réel, esclave des interruptions.

Les quatre niveaux d'interruption et toutes les ressources de la machine sont utilisés :

- Sur le niveau le plus prioritaire (0) se déroule le traitement des interruptions d'acquisition : les informations sont prélevées, comprimées ; si elles ne sont pas redondantes, elles sont placées dans la file d'attente circulaire ;
- Sur le niveau suivant (1) est simulé un canal de sortie vers l'IBM 1800. Chaque fois que le processeur est libre, un mot est sorti de la file d'attente et présenté à l'IBM7 ; le prêt du canal 1800 réactive le niveau et le processus recommence. Si la file d'attente est vide, le canal simulé déclenche une interruption sur le niveau 3. Sur ce niveau sont également reconnues les interruptions

  . Départ

. Arrêt
. Fin

- Sur le niveau 2 se déroule le programme de reprise en cas de saturation de la file d'attente
- Le niveau 3 est déclenché par le canal simulé lorsque la file d'attente est vide ; il boucle en la testant ; si un mot se présente, il relance l'entrée/sortie.

En cas d'erreur ou de saturation, des interruptions sont envoyées vers l'IBM 1800.

Les organigrammes sont donnés en annexe K.

4.773 - IDENTIFICATION DES INFORMATIONS

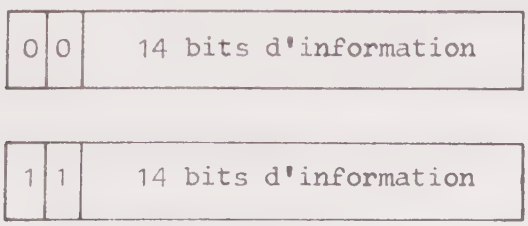
Toutes les informations, que ce soit :

- des mots de télémesure
- des identifications de mots de télémesure
- des mots temps
- des mots de contrôle (Départ, Fin, Saturation)

sont placées dans la file d'attente. Les deux bits de poids forts servent à identifier ces informations.

a) Mots de télémesure

Les mots issus de télémesures doivent comporter au maximum 14 bits ; les deux bits d'identification sont soit 00, soit 11 :



b) Identification de mots de télémesure

La compression ôtant les informations redondantes, il est nécessaire de repérer les autres; à cette fin, nous utilisons un identificateur

de 16 bits (un mot) qui représente le numéro du mot de télémesure dans la table de décommutation.

Tous les algorithmes (sauf celui de suppression) acquièrent le premier mot. Comme il n'y a pas d'ambiguïté, le premier point de chaque voie, après un départ, sera transmis sans son identification ; ceci permet d'éviter une saturation dès le départ.

En cours d'acquisition, un identificateur est associé à chaque information non redondante ; par contre, si l'on réalise une acquisition simple sur une ou plusieurs voies, les identificateurs ne sont pas transmis, car il n'y a pas d'ambiguïté.

Les deux bits d'identification de l'identificateur sont 01 :

0	1	14 bits pour l'identificateur

c) Les mots temps

Ils sont repérés par un 1 dans le bit de poids fort :

1	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	100 jours		10 jours			jour		
1	S_6	S_7	10 heures			Heure		10 mn			mn		
1		10 s			s			100 ms			10 ms		
1	Ø	N_2	N_1		ms			100 µs			10 µs		

Le temps est exprimé en DCB.

S_1 à S_7 sont des qualités incluses dans le temps par niveau du coupleur.

S_1, S_2 } Servitudes FM

S_3 Décalage bases de temps

S_4, S_5, S_6, S_7 } Servitudes PCM

N_1 et N_2 indiquent le nombre de mots temps qui ont évolué depuis le dernier prélèvement.

d) Les mots de contrôle

Ils sont également repérés par un 1 dans le bit de poids fort et correspondent à des configurations impossibles des mots temps :

/8AAA indique DEPART D'ACQUISITION
/8FFF indique FIN D'ACQUISITION
/8BBB indique SATURATION FILE D'ATTENTE

4.774 - INITIALISATION DU PROGRAMME

La reconnaissance d'interruption devant être extrêmement rapide, le moniteur est déconnecté par modification de tous les mots réservés. La machine à écrire est désarmée.

Toutes les sources d'interruptions (les deux registres interruptifs) sont assignées,préparées(mode maintenu ou dynamique) et armées.

Les pointeurs de la file d'attente sont initialisés, ainsi que :

- quelques instructions référençant la table de décommutation (son point d'entrée est transmis par l'IBM 1800 dans le mot 2)
- les registres sur tous les niveaux.

En fin d'initialisation, l'interruption "PRET IBM7" est générée vers l'IBM 1800.

4.775 - TRAITEMENT DES INTERRUPTIONS DEPART, ARRET, FIN

a) Départ

Dès que le départ est reconnu, le programme génère une interruption programmée sur le niveau 0. Deux signaux sont envoyés au coupleur :

- prise en compte de l'ordre
- validation de la télémesure

Les dernières initialisations sont effectuées, puis l'indicateur de départ et les quatre mots temps sont lus et rangés dans la file d'attente.

b) Arrêt et Fin

Deux signaux sont envoyés au coupleur :

- prise en compte de l'ordre
- masquage de la télémesure

Le mot réservé de l'interruption programmée de niveau 3 est modifié.

S'il s'agit de "FIN D'ACQUISITION", le code correspondant est introduit dans la file d'attente. Puis le contrôle est rendu au canal simulé. Lorsque la file d'attente est vidée, la routine de contrôle génère l'interruption programmée de niveau 3.

Le programme de traitement envoie l'interruption "PRET IBM7" vers l'IBM 1800 (ordre exécuté, file d'attente vidée). S'il s'agit d'une fin d'acquisition ou d'un arrêt temporaire d'acquisition avec compression, le moniteur est reconnecté (RINIT) pour permettre le rechargement ; sinon, le programme boucle sur le test de la file d'attente.

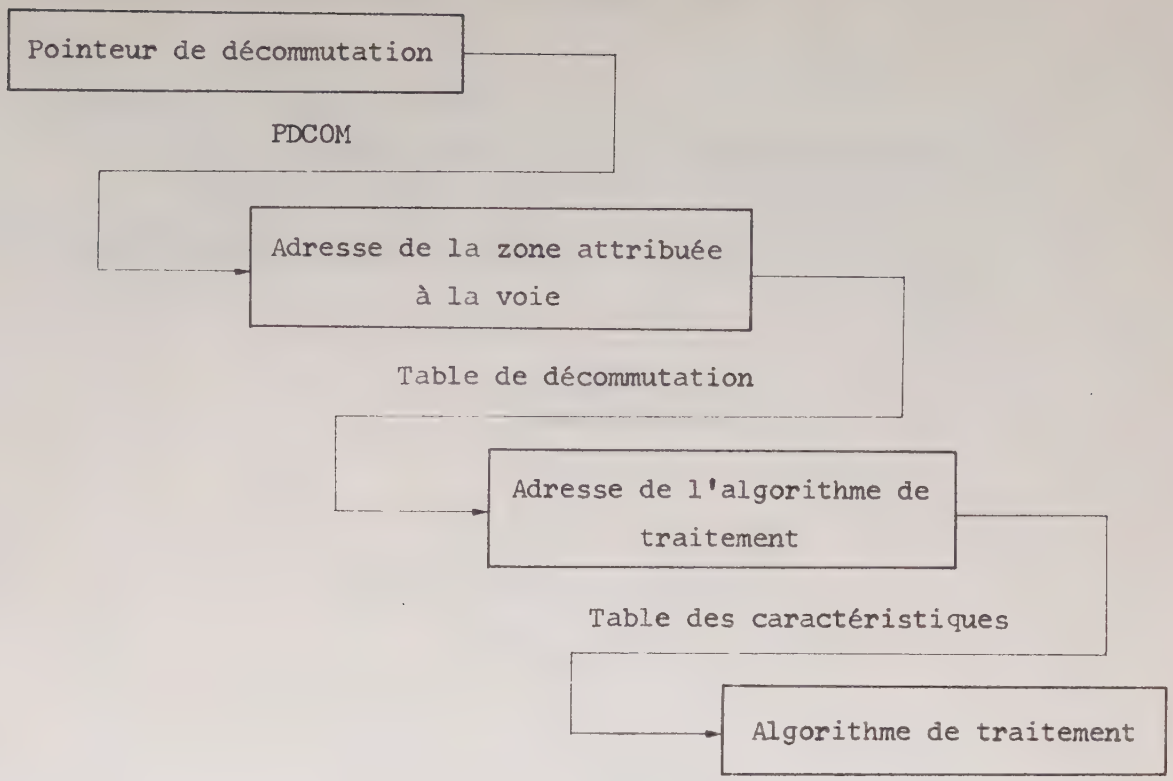
4.776 - TRAITEMENT DES INTERRUPTIONS D'ACQUISITION

Les interruptions d'acquisition arrivent sur le registre interruptif n° 1 (voir annexe A) ; lorsqu'une impulsion de mot, de ligne ou de format (PCM), de groupe (FM) arrive, le registre déclenche une interruption. La lecture du registre interruptif et un branchement indexé permet, suivant son contenu, de se brancher rapidement aux programmes de traitement.

- Sur interruption de format ou de groupe, le pointeur PDCOM de la table de décommutation est remis à zéro ; le temps est lu dans un format variable (1 à 4 mots suivant N_1N_2) et placé dans la file d'attente.

- Sur interruption de ligne, le traitement du temps est identique au précédent ; le pointeur n'est pas altéré.

- Sur interruption de mots, un branchement à travers la table de décommutation est effectué vers le programme de traitement.



Si des interruptions parasites venaient s'ajouter en fin de format, PDCOM pointerait sur un mot de la table de décommutation indiquant l'adresse d'un algorithme de suppression.

4.777 - ALGORITHMES DE COMPRESSION DE DONNEES

Les algorithmes disponibles dans cette première version sont :

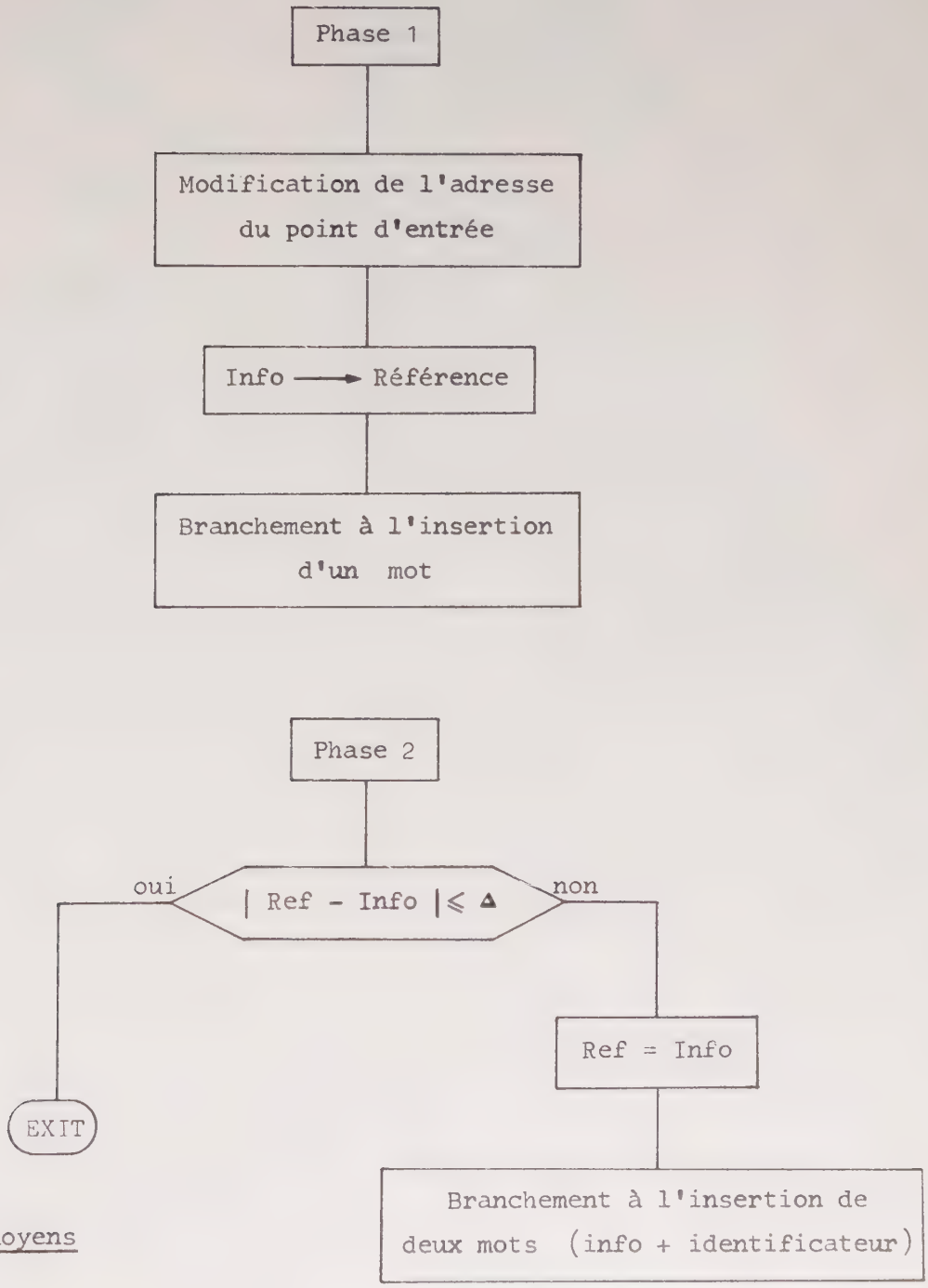
- suppression
- acquisition sans compression
- prédicteur d'ordre zéro fixe à référence (la référence y_o est donnée à la préparation)
- prédicteur d'ordre zéro fixe sans référence (la référence y_o est le premier point de la télémesure)
- prédicteur d'ordre zéro flottant
- prédicteur d'ordre zéro à décalage simple
- prédicteur d'ordre zéro à décalage multiple
- interpolateur d'ordre zéro.

Les algorithmes sont minimisés au cycle près.

Ils sont généralement formés de plusieurs phases :

- l'acquisition du premier point
- le traitement des autres points en une ou plusieurs phases

a) Prédicteur d'ordre zéro flottant



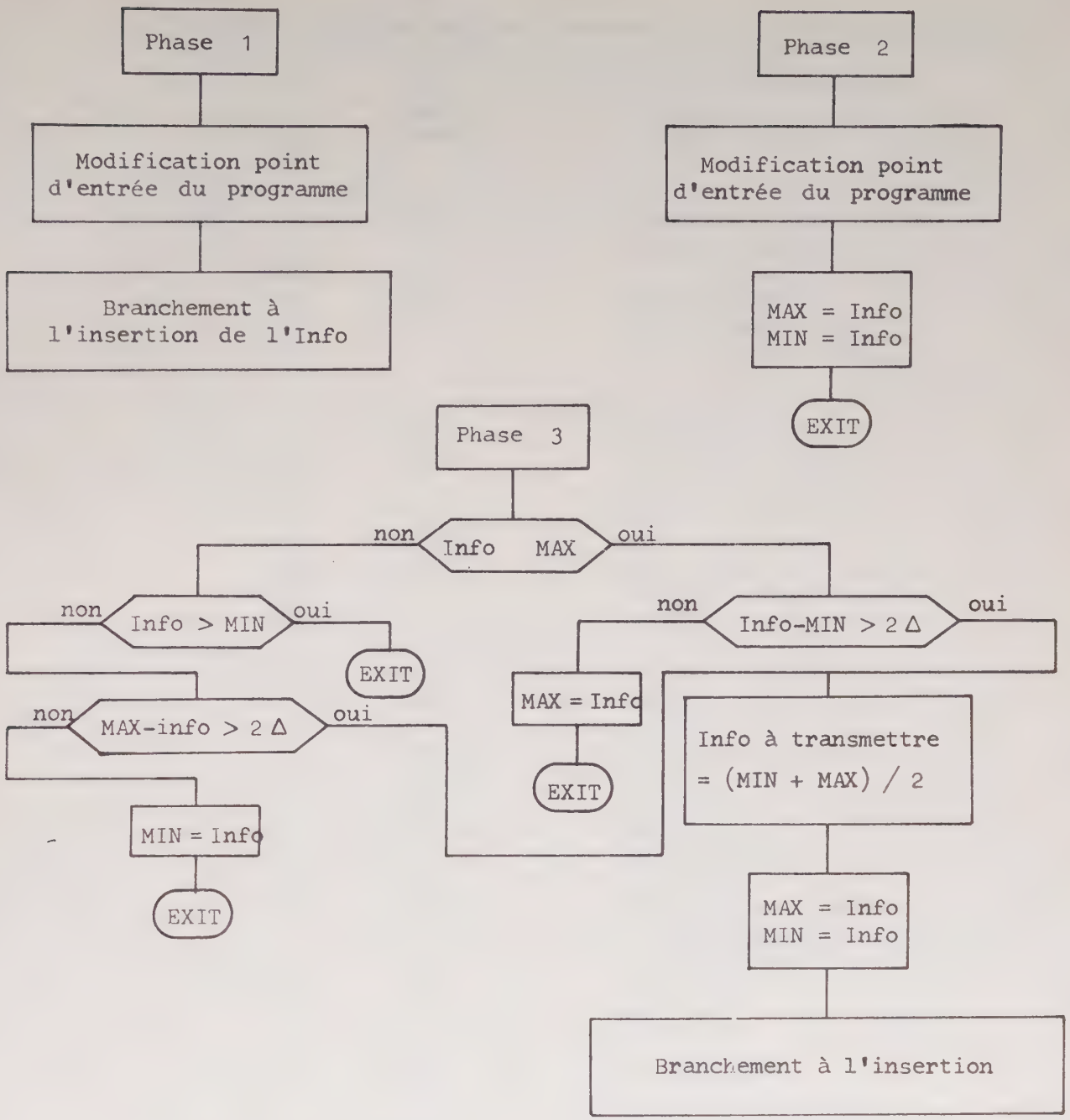
Temps d'exécution moyens

Phase 1 : 3,2 μs

Phase 2 { redondance 3,4 μs ; non redondance 5,0 μs

```
*****************************************************
*                                                   *
*                PREDICTEUR FLOTTANT                *
*                                                   *
*****************************************************
*
* AU MOMENT DU BRANCHEMENT
*      - L ACCUMULATEUR CONTIENT L ADRESSE DE BRCHT
*      - RX4 POINTE SUR LA ZONE DE CARACTERITIQUES
* ATTRIBUEE AU PARAMETRE
*      - RX7 CONTIENT L INFORMATION
*
*  POINT D ENTREE POUR LE PREMIER POINT
ZOP1   PAI      ZOP2-ZOP1,ACC   MODIFICATION
       PST      0,RX4           DU POINT D ENTREE
       PLR      RX7             MEMORISATION DE
       PST      2,RX4           L INFO DANS REF
       PB       GEST1           INSERTION DS LA FILE
*
* POINT D ENTREE POUR LES AUTRES POINTS
ZOP2   PL       2,RX4           LECTURE REF
       PSR      RX7             REF-INFO
       PSP                      SAUT SI POSITIF
       PCR      ACC             INFO-REF
       PS       1,RX4           SUPERIEUR A DELTA
       PSP                      SAUT SI OUI
       PLEX                     EXIT
       PLR      RX7             MEMORISATION
       PST      2,RX4           REF=INFO
       PB       GEST2           INSERTION INFO+IDENTIF.
```

b) Interpolateur d'ordre zéro

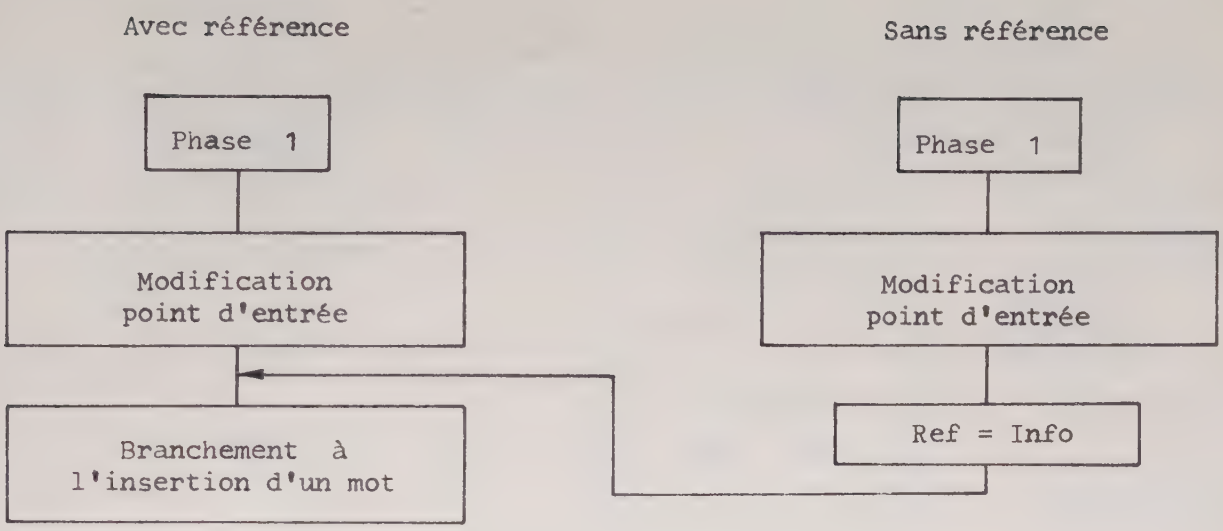


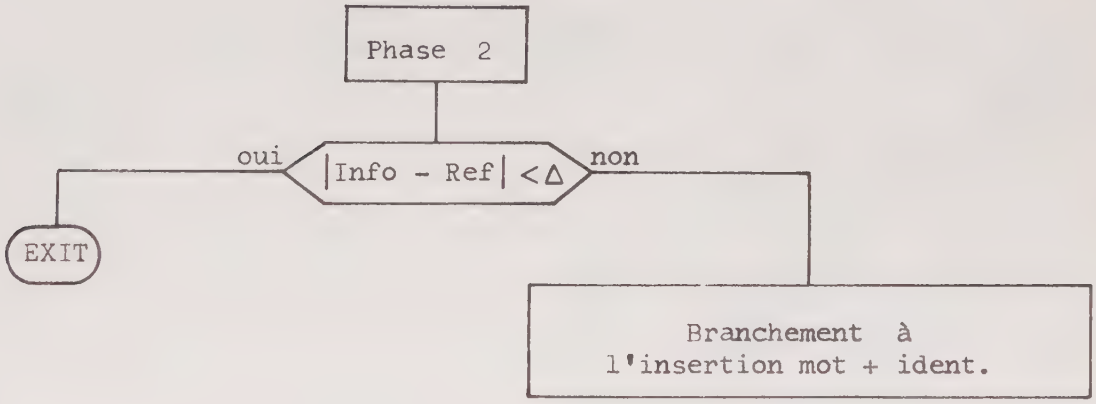
Temps moyens d'exécution

Phase 1		2 μs
Phase 2		3,6 μs
Phase 3	Redondance	5,4 μs
	Non redondance	10 μs

```
*****************************************************
*                                                   *
*          INTERPOLATEUR D ORDRE ZERO               *
*                                                   *
*****************************************************
* POINT D ENTREE POUR LE PREMIER POINT
ZOI1   PAI      ZOI2-ZOI1,ACC  MODIFICATION POINT
       PST      0,RX4          D ENTREE
       PB       GEST1          INSERTION DE L INFO
*
* POINT D ENTREE POUR LE 2 POINT
ZOI2   PAI      ZOI3-ZOI2,ACC  MODIFICATION
       PST      0,RX4          POINT D ENTREE
       PLR      RX7
       PST      2,RX4          MAXIMUM=INFO
       PST      3,RX4          MINIMUM=INFO
       PLEX                    EXIT
*
* POINT D ENTREE POUR LES AUTRES POINTS
ZOI3   PLR      RX7            INFO INF.
       PS       2,RX4          OU EGALE A MAX
       PSNP                    SAUT SI OUI
       PB       BRCH1          BRANCHT SI NON
       PL       3,RX4
       PSR      RX7            INFO SUP OU EGALE A MIN
       PSP                     SAUT SI NON
       PLEX                    EXIT
       PL       2,RX4
       PSR      RX7            NOUVEL ECART
       PS       1,RX4          SUP. A 2DELTA
       PSP                     SAUT SI OUI
       PB       SORT1          BRANCHT SI NON
       PL       2,RX4          ON
       PA       3,RX4          TRANSMET
       PSRA     1,ACC          DANS RX7
       PIR      RX7            (MIN+MAX)/2
       PST      2,RX4          MAX=INFO
       PST      3,RX4          MIN=INFO
       PB       GEST2          INSERTION MOT ET IDENT.
SORT1  PLR      RX7
       PST      3,RX4          MIN=INFO
       PLEX                    EXIT
BRCH1  PLR      RX7
       PS       3,RX4           INF-MIN
       PS       1,RX4          SUP. A 2DELTA
       PSP                     SAUT SI OUI
       PB       SORT2          BRANCHT SI NON
       PL       2,RX4          ON
       PA       3,RX4          TRANSMET
       PSRA     1,ACC          DANS RX7
       PIR      RX7            (MIN+MAX)/2
       PST      2,RX4          MAX=INFO
       PST      3,RX4          MIN=INFO
       PB       GEST2          INSERTION MOT ET IDENT.
SORT2  PLR      RX7
       PST      2,RX4          MAX=INFO
       PLEX                    EXIT
```

c) Prédicteur d'ordre zéro fixe

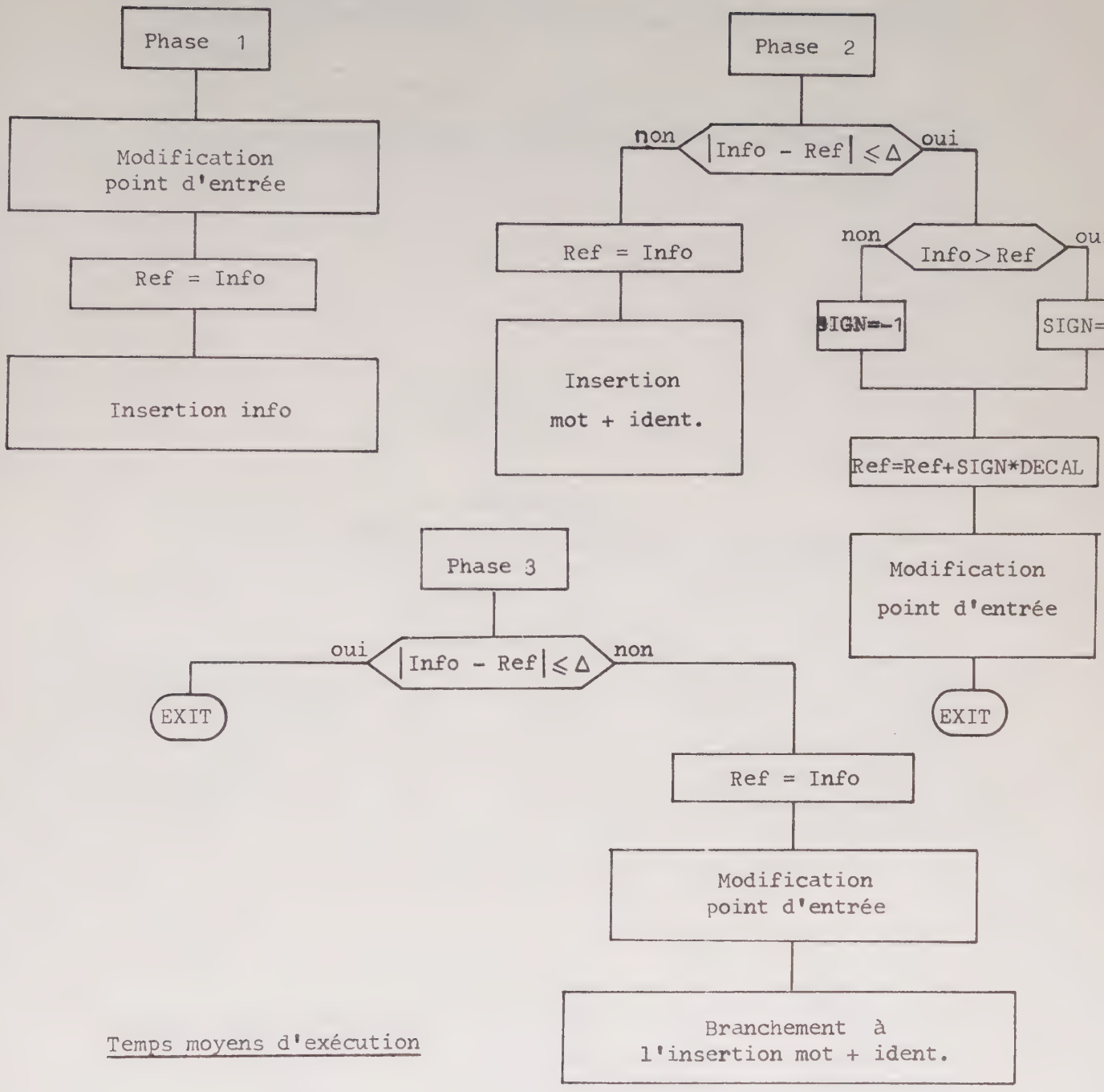




Temps moyens d'exécution

Phase 1	sans référence	3,2 µs
	avec référence	2 µs
Phase 2	redondance	3,4 µs
	non redondance	3,8 µs

d) Prédicteur à décalage simple



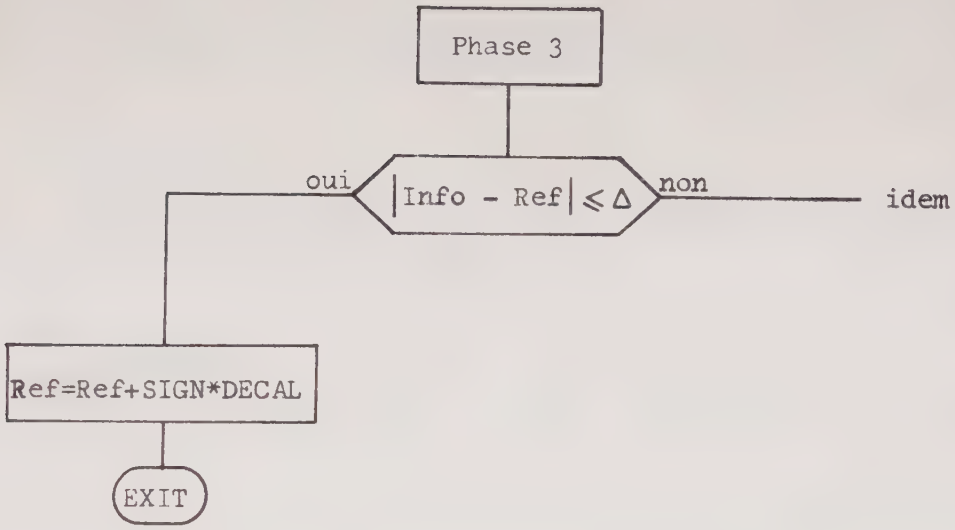
Temps moyens d'exécution

Phase 1		3,2 µs
Phase 2	Redondance	9,4 µs
	Non redondance	5,8 µs
Phase 3	Redondance	3,4 µs
	Non redondance	7,0 µs

e) Prédicteur à décalage multiple

Les deux premières phases sont identiques à celles du prédicteur précédent.

Dans la troisième phase, une modification est apportée à l'une des branches :



Temps moyens d'exécution

Phase 3	Redondance	6,2 μs
	Non redondance	7 μs

4.778 - GESTION DE LA FILE D'ATTENTE

La file d'attente est de type circulaire ; elle possède :

- deux pointeurs en mémoire : PE Pointeur d'entrée
  PS Pointeur de sortie
- quatre routines d'insertion de mots
  - GEST1 pour 1 mot
  - GEST2 pour 2 mots
  - GEST3 pour 3 mots
  - GEST4 pour 4 mots
- une routine d'extraction de mots
- une routine de traitement de la saturation
- une routine de traitement lorsque la file est vide

a) Insertion

Une saturation est détectée pour PE = PS ; les tests sont optimisés afin de réduire leur durée.

b) Extraction

Sur interruption "PRET" du canal d'acquisition de l'IBM 1800, une extraction est tentée.

Si PS = PE, la file d'attente est vidée ; la routine génère une interruption sur le niveau 3 ; le programme d'interruption boucle si PS = PE et relance une extraction lorsque PS $\neq$ PE.

c) Saturation

Lorsqu'une saturation est détectée, l'IBM7 envoie au coupleur l'ordre de masquage de la télémesure, envoie à l'IBM 1800 l'interruption "SATURATION IBM7" et programme une interruption sur le niveau 2. Le canal simulé sur niveau 1 prend alors la main et vide la file d'attente. Lorsque la file est vidée, le niveau 2 prend la main et envoie l'ordre de validation de la télémesure au coupleur.

4.779 - ERREURS

En cas d'erreur-programme ou d'erreur-machine (micro-coupure de courant par exemple), l'IBM7 envoie l'interruption "ERREUR FATALE IBM7" vers l'IBM 1800, et se branche au programme de traitement des erreurs du moniteur.

Si une interruption de processus interdite est détectée, la même procédure est exécutée ; le diagnostique de l'erreur est imprimé sur le télétype de l'IBM7.

CHAPITRE 5

PERFORMANCES ET APPLICATION

5.1 - TEST DU SYSTEME

5.11 - METHODE DE TEST

Le système d'acquisition est constitué de programmes et d'équipements qui ont tout d'abord été testés séparément.

Au fur et à mesure de l'intégration, les mises au point ont été faites, au besoin en écrivant des programmes spécialisés :

- Boucle d'information IBM 1800 / IBM7 / IBM 1800
- Contrôle des interruptions d'acquisition
- Contrôle du temps et des codes élaborés par le MI7.

Le contrôle final permet de tester le dispositif complet (Fig. 49) :

Une bande numérique a été créée à partir d'informations enregistrées sur cartes, simulant une télémesure PCM.

Le programme de simulation PCMSI lit la bande et envoie les informations au simulateur PCM ; la cadence, le code et la structure de la télémesure peuvent être choisis par programme. Le simulateur sérialise, bruite et transmet la télémesure aux équipements électroniques de l'IBM7, préalablement programmés.

L'IBM7 effectue l'acquisition comme s'il s'agissait d'une télémesure réelle ; le résultat est obtenu sur la seconde unité de bande.

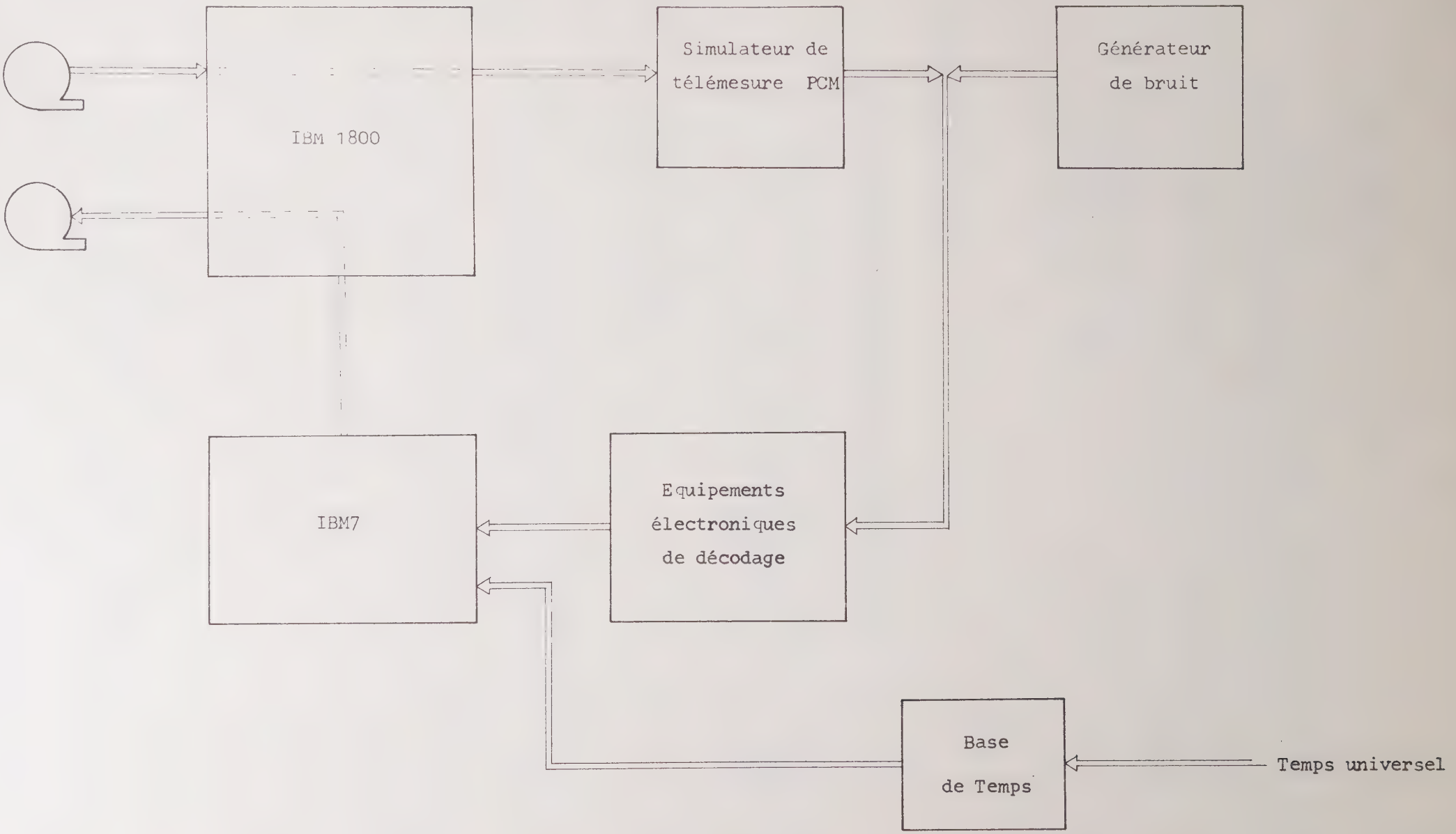


Figure 49 - BOUCLE DE TEST

5.12 - RESULTATS

La comparaison des deux bandes a permi de mettre en évidence plusieurs erreurs provenant des équipements et des programmes.

Après modification, des tests positifs ont été obtenus :

- en acquisition simple
- en décommutation simple
- en compression

5.2 - PERFORMANCES

5.21 - PROGRAMME DE RANGEMENT SUR BANDE MAGNETIQUE

Le programme utilise deux tables de 1200 mots chacune ; pendant que l'une est remplie, l'autre est vidée sur bande magnétique. Les informations sont regroupées en bloc ; le temps d'écriture d'un bloc comprend :

- un temps de démarrage
- un temps de transfert
- un temps d'arrêt

Les temps de démarrage et d'arrêt étant constants, les plus fortes cadences sont obtenues avec de grands blocs.

Pour une vitesse de transfert annoncée de 90 k octets/s et des blocs de 1200 mots, la cadence théorique maximale est :

71,5 k octets/s, soit 35,75 k mots/s

En fait, au niveau des accès à la mémoire, il y a des conflits entre les différents canaux :

- canal d'acquisition
- canal de bande magnétique
- canaux des autres unités (environnement multiprogrammé)
- compteurs de temps.

La perte de performance est variable avec l'activité de la machine, de 0,5 % (acquisition seule) à environ 4 %.

La cadence maximale de la bande est donc de l'ordre de

35 k mots /s

5.22 - PROGRAMMES D'ACQUISITION

La figure 50 donne les temps de traitement de la date et des informations en acquisition, décommutation ou compression.

La précision des temps est très inférieure à un cycle de base de la machine (400 ns). Par contre, les cadences sont étroitement liées à la structure de la télémesure : les résultats donnés sont typiques.

5.221 - DATATION

Le traitement qui semble le plus long est l'acquisition de la date sur quatre mots (33,5 μs).

En fait, le temps dont on dispose est en général au moins le double de l'intervalle qui sépare deux interruptions de mots (Fig. 51)

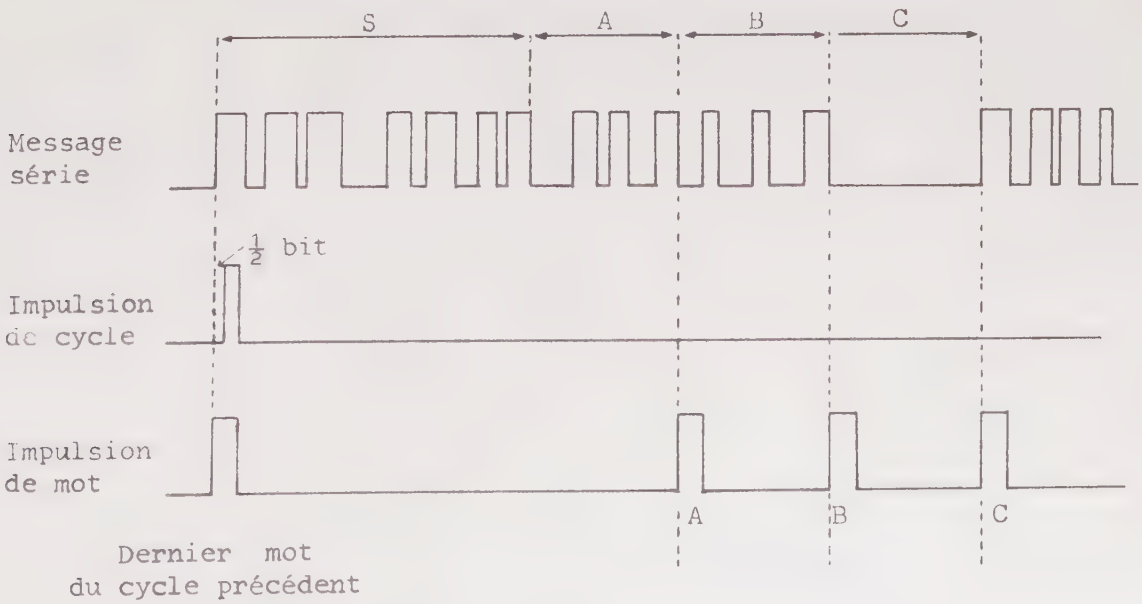
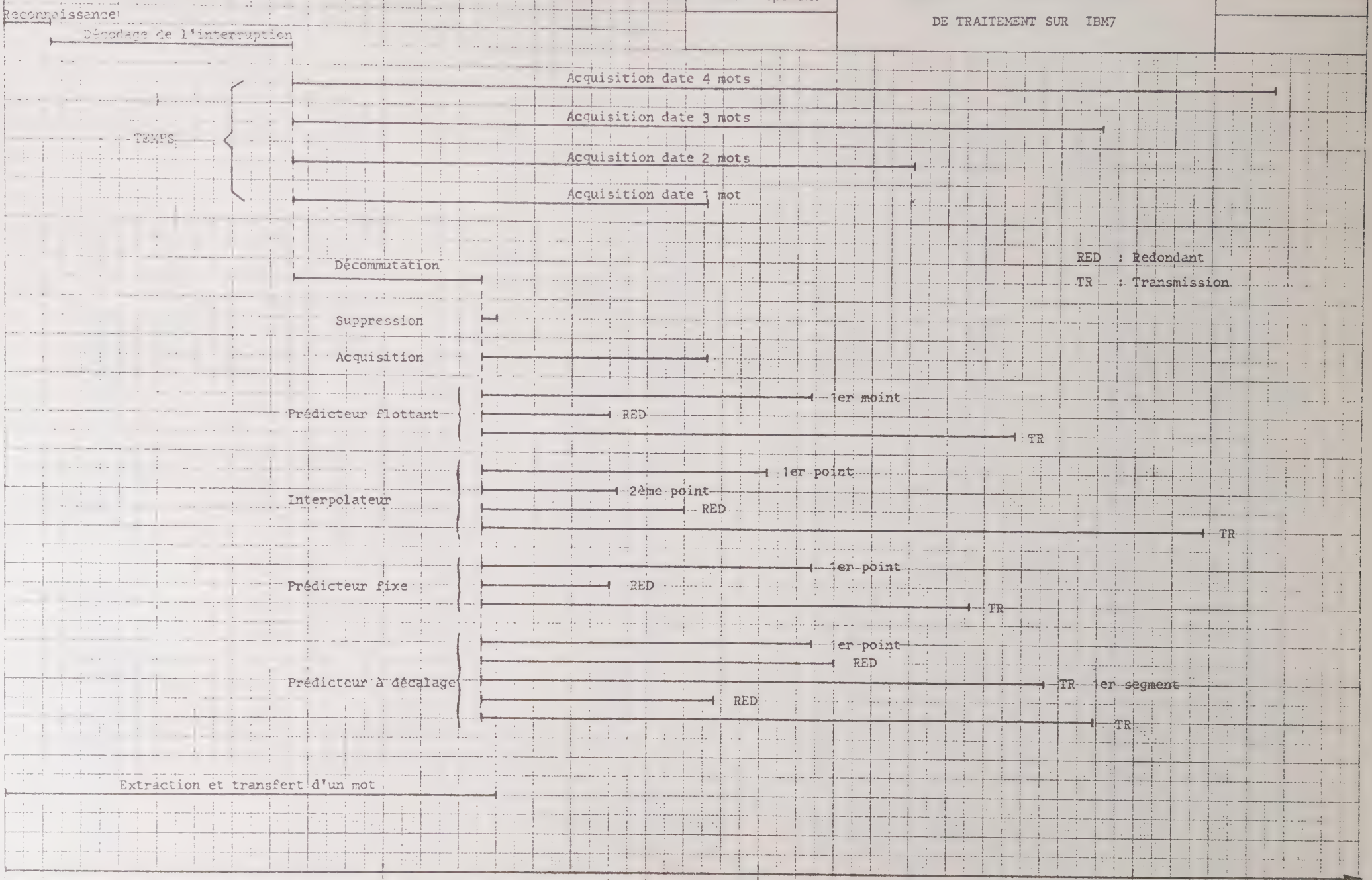


Figure 51 - IMPULSION DE CYCLE ET DE MOT

Figure 50 - DIAGRAMME DES TEMPS DE TRAITEMENT SUR IBM7



Grâce à l'adoption du système de transmission des seuls mots "temps" ayant varié, la cadence de transfert diminue en moyenne lorsque le débit de la télémesure augmente (un seul mot temps varie en général entre deux datations).

De ce fait, le traitement du temps ne limite pas la cadence d'acquisition.

5.222 - TRANSFERT VERS L'IBM 1800

L'absence d'un canal à vol de cycle ou d'un accès direct à la mémoire a des répercussions importantes : l'extraction d'un mot de la file d'attente et le transfert vers l'IBM 1800 dure 13 µs. Si l'on se souvient qu'en compression un mot non redondant est transmis avec son identificateur, le temps de sortie d'une information est alors doublé : 26 µs. C'est ce temps qui limite les possibilités de l'équipement.

5.223 - ACQUISITION SYSTEMATIQUE

L'acquisition et la sortie d'un mot durent environ 32 µs. A haute cadence, le traitement moyen de la date est proche du minimum, la file d'attente intégrant les variations éventuelles.

La cadence maximale est alors

30 k mots /s	(pour des mots de 8 à 14 bits)

L'algorithme d'acquisition systématique est une des possibilités du programme d'acquisition avec compression. Si l'on voulait spécialiser le programme, l'étape de décommutation pourrait être supprimée (cf Fig. 50). La cadence maximale serait alors de l'ordre de 35 k mots /s.

5.224 - DECOMMUTATION

La cadence maximale dépend de la proportion a de mots conservés.
Si les mots sont espacés régulièrement, la cadence maximale est donnée par:

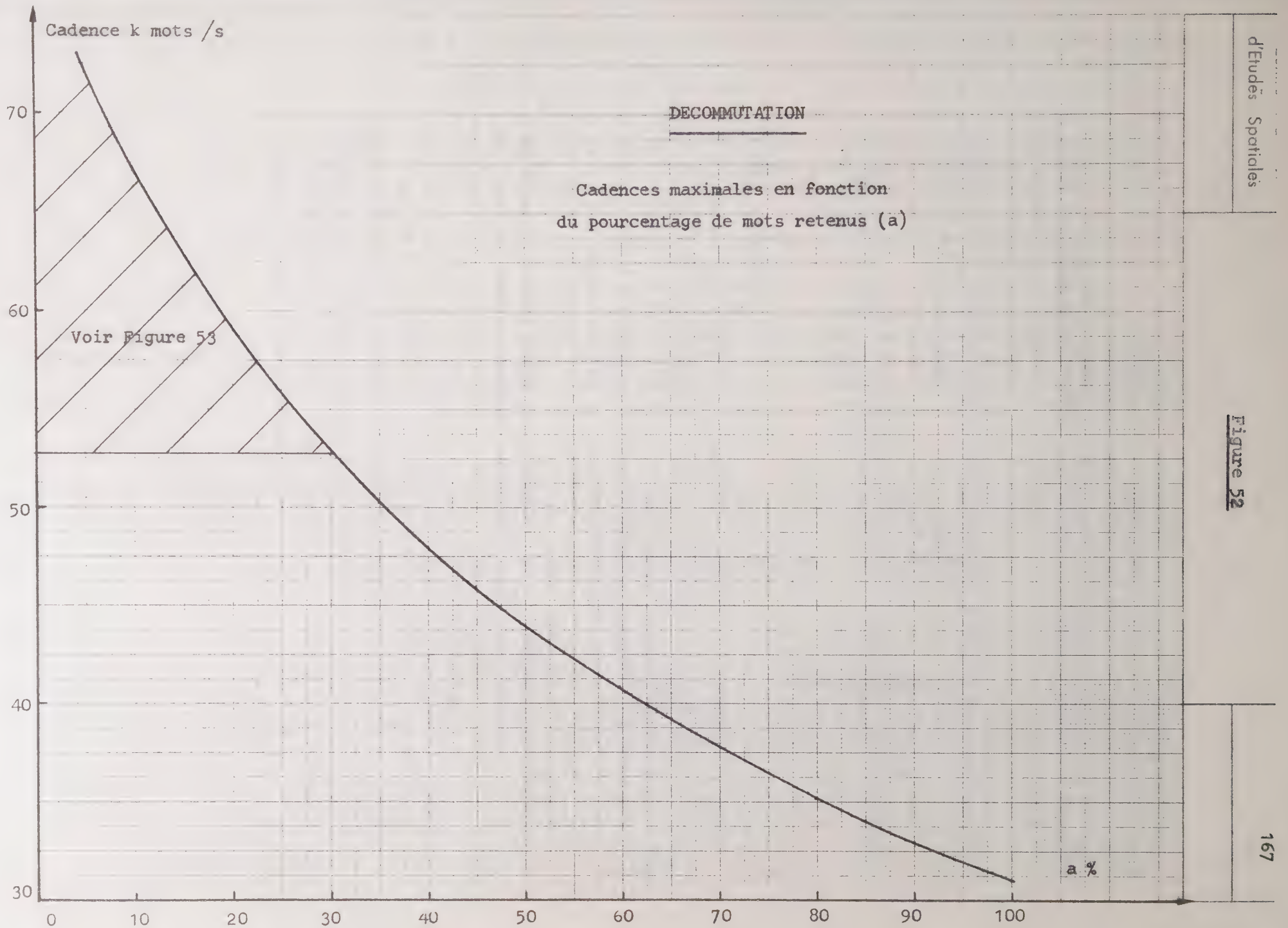

DECOMMUTATION
Cadences maximales en fonction
du pourcentage de mots retenus (a)
Cadence k mots /s
70
60
50
40
30
Voir Figure 53
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
a %

Figure 52

$$C_{MAX} = \frac{10^6}{19a + 13}$$ (cf Fig. 52)

En fait, la répartition des voies retenues n'a pas d'influence jusqu'à 53 k mots /s.

Au delà, une information peut être perdue si l'on retient une longue suite de voies contiguës.

La figure 53 donne la cadence maximale d'acquisition en fonction de la taille de la plus longue suite.

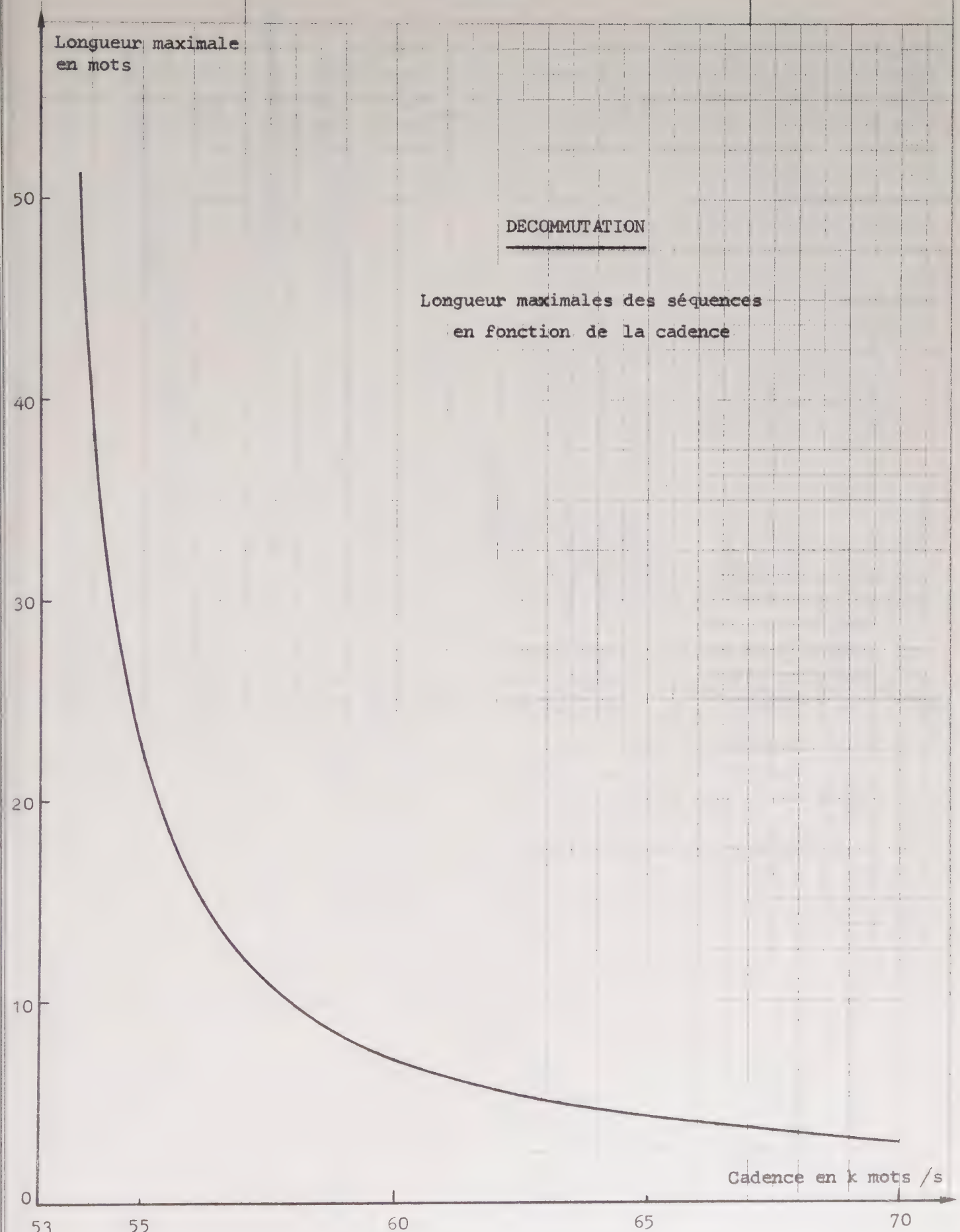
5.225 - COMPRESSION

Dans chaque algorithme, sauf celui de suppression, la première valeur est transmise (sans identification) ; le début de l'acquisition pourrait être critique, mais la présence d'une file d'attente de taille suffisante (1000 à 4000 mots) permet d'intégrer l'activité générale et évite une saturation dès le début de l'acquisition.

La figure 54 donne la cadence maximale de la télémesure en fonction des taux de compression pour les divers algorithmes retenus.

Ces cadences sont indicatives, car elles supposent que tout le format est traité par le même algorithme. Cette hypothèse est pessimiste : les télémesures sont habituellement d'abord décommutées, puis un certain nombre des voies retenues sont comprimées. Les cadences d'acquisition peuvent alors égaler ou dépasser les cadences de décommutation, suivant le taux de compression.

Figure 53



DECOMMUTATION

Longueur maximales des séquences
en fonction de la cadence

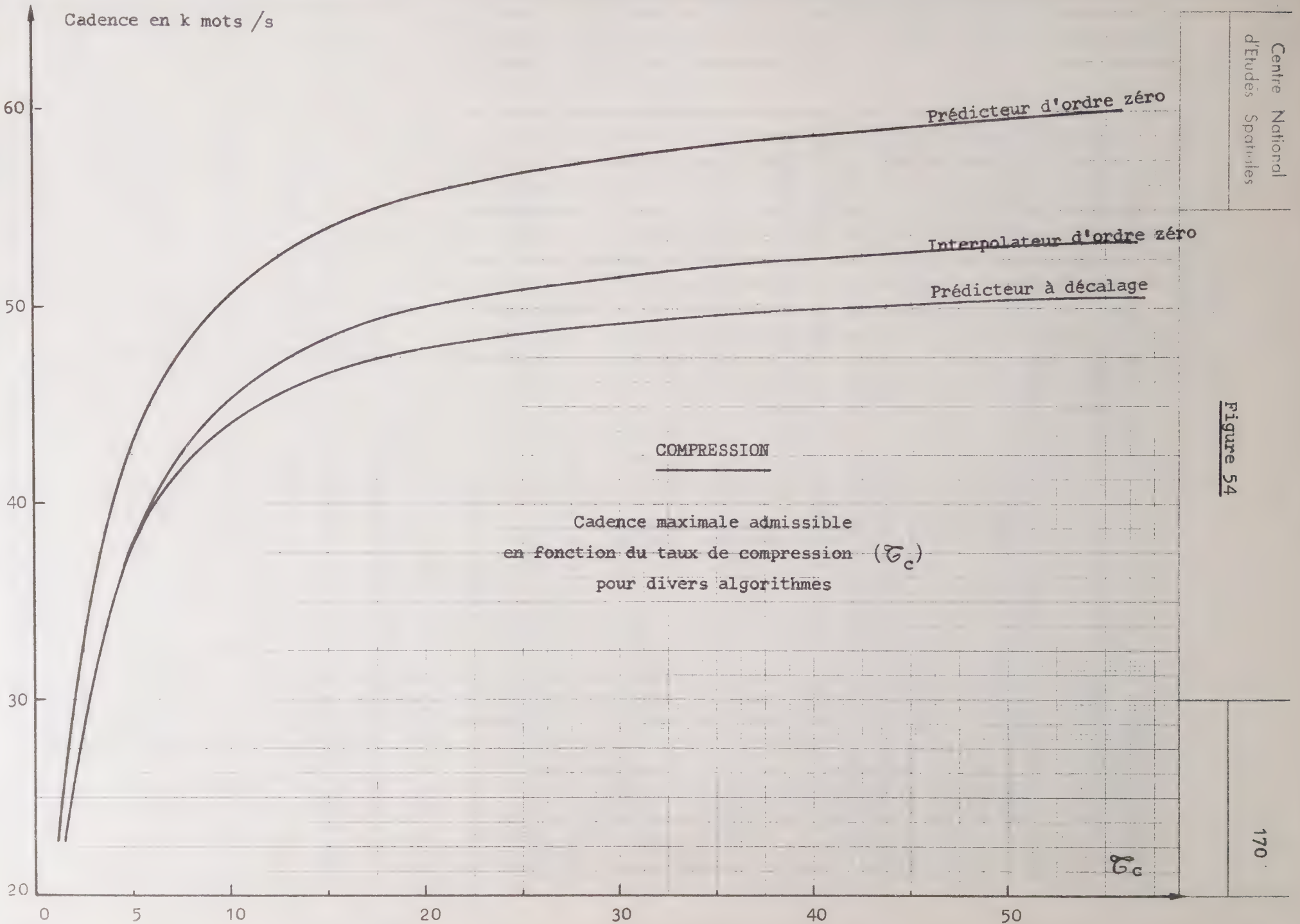


Figure 54

Centre National d'Etudes Spatiales

5.3 - ANALYSE D'UN EXEMPLE REEL

Le signal de l'expérience STEREO est un bruit solaire (169 MHz) recueilli en parallèle par le radiotélescope de Nançay et une sonde marsienne.

Nous l'avons choisi car des études sur la possibilité de compression par un prédicteur d'ordre zéro ont été conduites à l'Observatoire de Meudon (27).

Les caractéristiques sont assez mal connues : le mécanisme physique (explosion solaire à décroissance exponentielle) laisse supposer que le processus est de type Markovien. La bande de fréquence est approximativement 10 Hz. Le signal a été échantillonné à 100 Hz, soit 5 fois la cadence théorique, et quantifié.

La figure 55 montre les taux de compression obtenus avec un prédicteur et un interpolateur.

A cette fin, les programmes de simulation de compression du chapître 3 ont été utilisés.

La comparaison des courbes permet de vérifier la supériorité de l'interpolateur sur le prédicteur.

La relation

$$\mathcal{C}_{c\ INT} = \mathcal{C}^2_{c\ PRED} \qquad (\S\ 3.152)$$

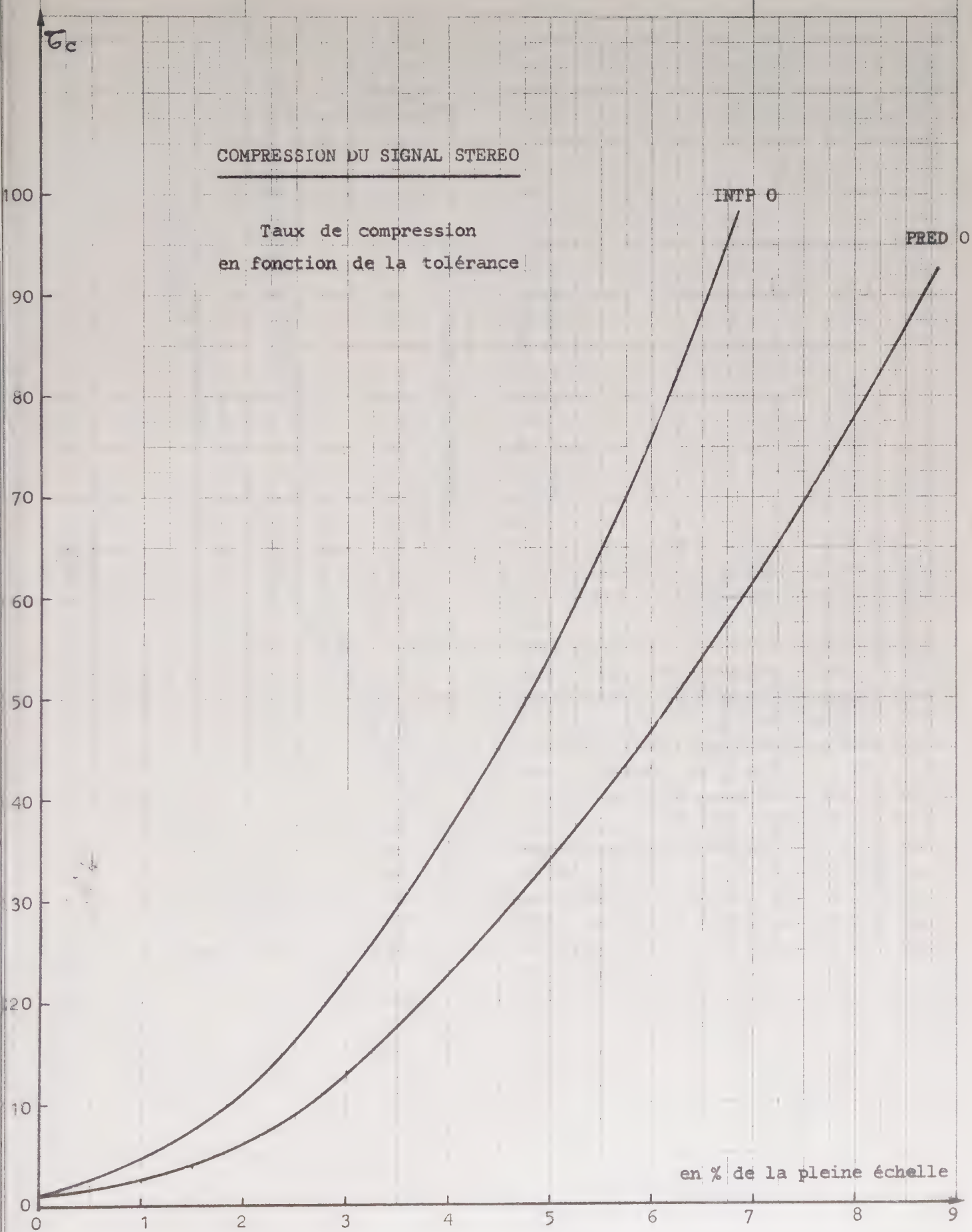
n'est valable que pour $\Delta < 1\ \%$, c'est-à-dire pour de petites variations du signal imputables vraisemblablement au bruit.

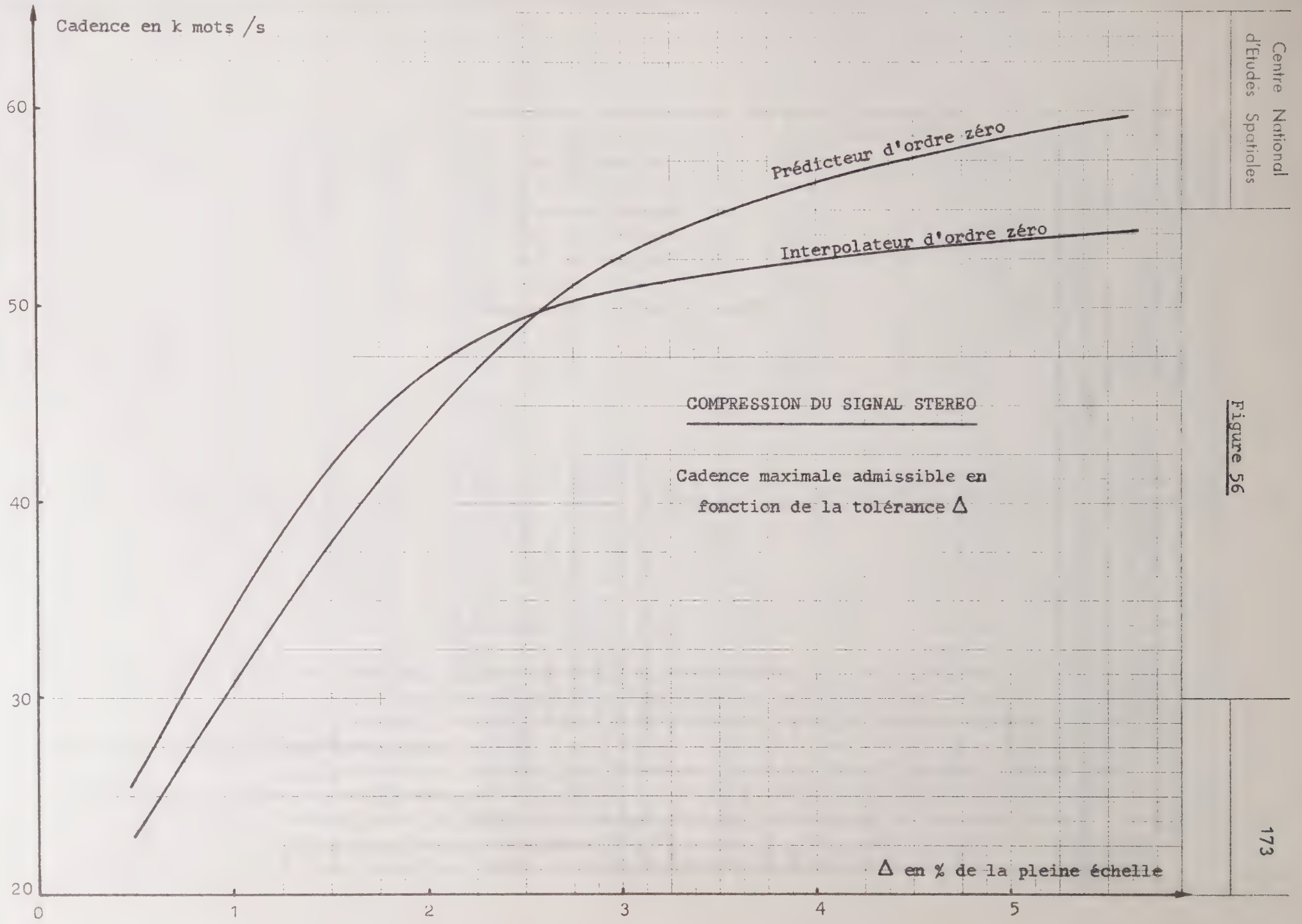
Au delà, $\mathcal{C}_{c\ INT} \simeq 2.\mathcal{C}_{c\ PRED}$.

Si le critère retenu n'est pas le taux de compression mais la cadence maximale d'acquisition, la figure 56 montre les efficacités comparées du prédicteur et de l'interpolateur.

Pour des tolérances inférieures à 2,5 %, provoquant un taux de compression de l'ordre de 15, l'interpolateur permet d'atteindre des cadences supérieures.

Figure 55


τ_c
COMPRESSION DU SIGNAL STEREO
Taux de compression
en fonction de la tolérance
INTP 0
PRED 0
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
en % de la pleine échelle



COMPRESSION DU SIGNAL STEREO

Cadence maximale admissible en fonction de la tolérance Δ

Figure 56

Lorsque le taux de compression augmente, le prédicteur est avantagé par la rapidité de son algorithme, bien que son efficacité soit moindre. Il permet d'atteindre des cadences proches de 60 k mots /s.

On montre ainsi que le choix d'un algorithme de traitement est déterminé par l'objectif de la manipulation :

- taux de compression élevé (interpolateur)
- haute cadence d'acquisition (prédicteur)

et par le taux de compression estimé.

5.4 - PROJET RESSOURCES TERRESTRES

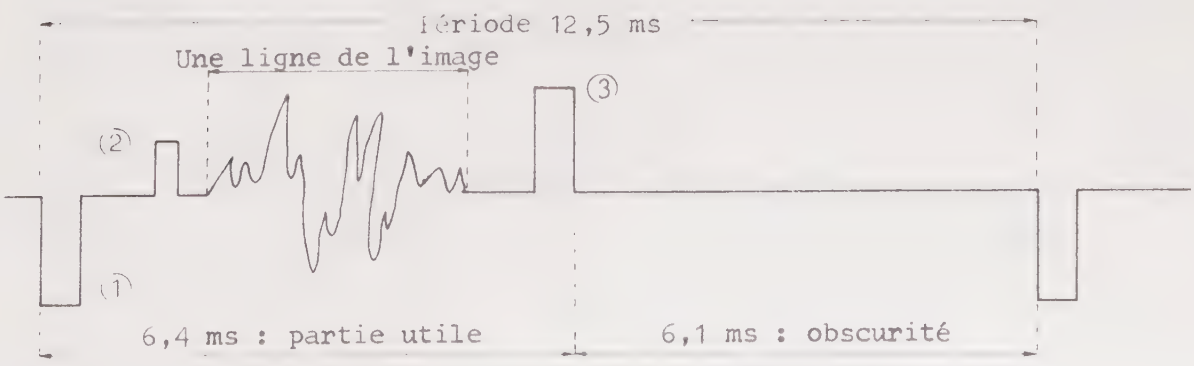
Ce projet a pour but l'étude de la terre (ressources géologiques, pollutions, etc ...).

Embarqué à bord d'un avion et, dans le futur, à bord d'un satellite, un système de détection de rayonnement (visible et infrarouge) analyse une bande de terrain, mémorise et transmet les informations obtenues.

Le scanner multispectral utilisé fournit dix signaux correspondant à dix bandes spectrales comprises entre 0,38 et 1,1 μ ; il procède par balayage perpendiculaire à la trajectoire du véhicule.

Le spectre fréquentiel de chaque signal s'étend au delà de 100 kHz.

L'enregistrement est de type FM. Après démodulation, on obtient le signal analogique suivant :



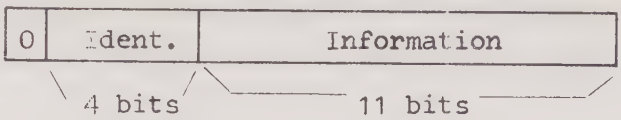
① Etalonnage : minimum
② Synchronisation de roulis (modulée en position)
③ Etalonnage : maximum

L'application de la compression de données à cette expérience peut apporter deux avantages :

- ne retenir que la portion utile du signal (image, étalonnage et synchronisation),
- augmenter les possibilités en cadence et par là même la qualité de l'image numérique.

Quelques modifications ont été apportées au programme de compression IBM7, tous les autres programmes restant inchangés.

- La décommutation est supprimée, car on ne traite qu'une voie à la fois
- L'identificateur accompagnant chaque information non redondante est intégré à cette information :



  En cas de dépassement de capacité (17 informations redondantes consécutives), une information non-redondante est forcée. La cadence de transfert est ainsi réduite de moitié par rapport au système général.
- L'acquisition est arrêtée pendant la période d'obscurité.

Grâce à ces modifications, une acquisition à 100 kHz peut être envisagée, ou à 200 kHz si le dérouleur de bande tourne à vitesse $\frac{1}{2}$.

Sans préjuger des possibilités de compression de l'image elle-même, un gain de 50 % est réalisé sur le système d'acquisition classique (modifié également pour n'acquérir que la première demi-période).

Une bande magnétique voit ainsi sa capacité passer de 8000 à au moins 16000 images pour une cadence d'acquisition de 165 k mots /s.

Dans le cadre du projet, une étude de l'influence de la compression sur la qualité de l'image sera entreprise pour optimiser le système d'acquisition. La possibilité de combiner deux signaux sera également envisagée.

CHAPITRE 6

C O N C L U S I O N

Le travail décrit dans le présent exposé montre qu'il existe plusieurs façons d'adapter les canaux de transmission et les moyens de traitement et de stockage au débit informationnel réel des sources.

L'analyse théorique de la compression par algorithmes prédicteurs et interpolateurs, particulièrement bien adaptés aux télémesures spatiales, permet de mettre en évidence quelques résultats généraux. Néanmoins, l'utilisation de ce procédé requiert une connaissance pratique de ses conséquences.

Dans cette optique, le dispositif de compression, construit autour des deux ordinateurs IBM7 et IBM 1800, doit permettre d'acquérir l'expérience de ce traitement.

Au fur et à mesure de son utilisation, des améliorations et extensions seront certainement apportées.

On peut déjà prévoir les grandes lignes des études futures :

- Application de la compression aux signaux réels ; étude de l'efficacité des divers algorithmes et des conséquences de la compression sur leur qualité.

- Extension du jeu des algorithmes

- Amélioration des algorithmes à décalage.

Dans le cadre des projets du CNES, le traitement automatique des signaux d'images, très redondants en général, doit se développer rapidement

(Ressources terrestres, satellites météorologiques, ...) ; l'augmentation des possibilités d'acquisition systématique ne peut conduire, à long terme, qu'à l'engorgement des canaux et ordinateurs de traitement.

La compression des informations au sol ou en vol doit permettre de résoudre ces problèmes.

Suivant l'importance des projets, des dispositifs spécialisés câblés pourront être construits sur le modèle du système décrit.

Le champ d'application de la réduction de redondances ne peut être limité au seul domaine spatial : partout où sont traitées de grandes quantité d'informations (téléphonie, fichiers de gestion, ...) la compression peut avoir sa place.

TABLE DES ANNEXES

A - REGISTRES INTERRUPTIFS

B - REGISTRES DE DIALOGUE

C - LOGIQUE DES PROGRAMMES - SYSTEME

D - TABLES DU SYSTEME IBM7

E - ASSEMBLAGE D'UN PROGRAMME IBM7

F - PROGRAMMATION FORTRAN DES 2260

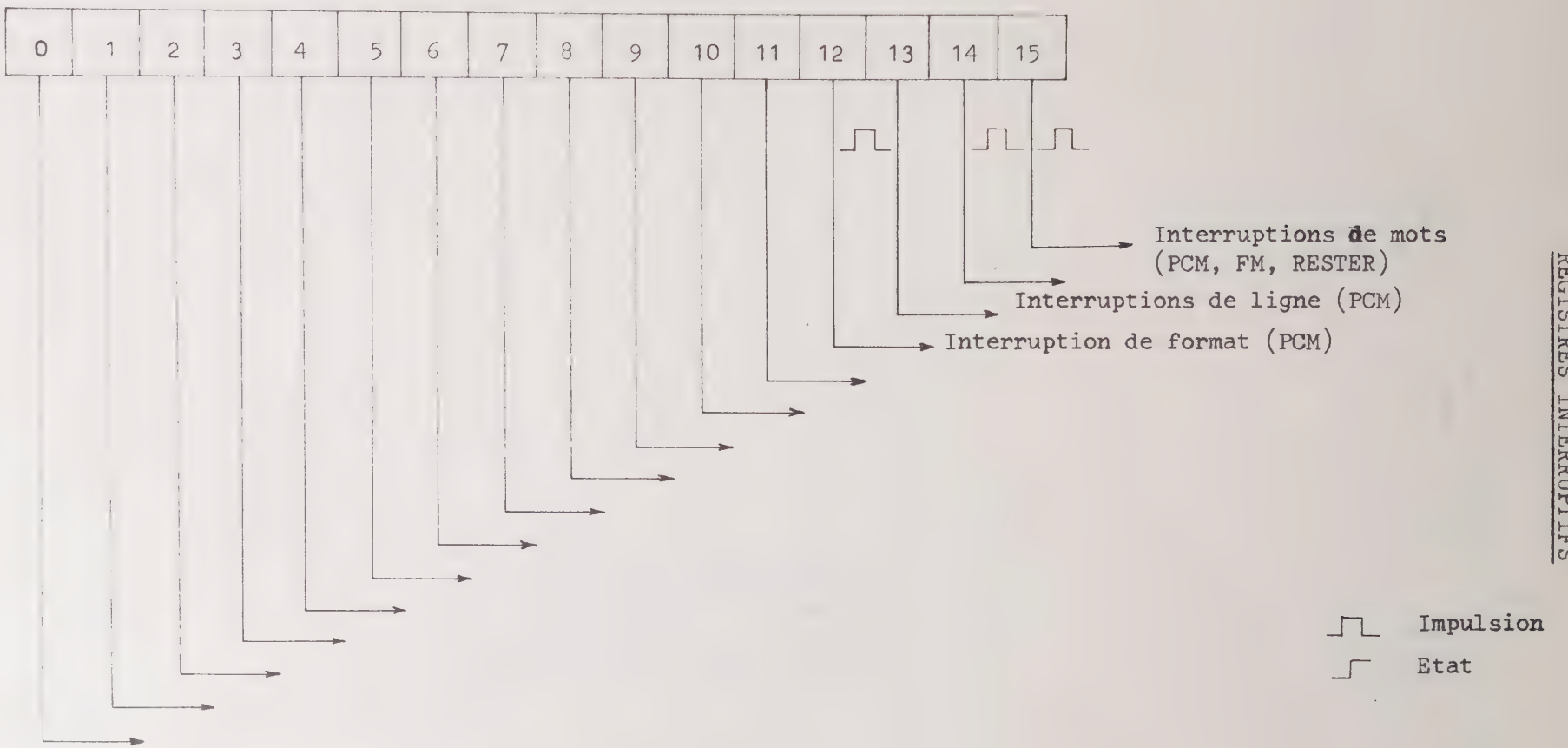
G - LOGIQUE DES PROGRAMMES DE PREPARATION

H - LOGIQUE DES PROGRAMMES D'INITIALISATION

I - STRUCTURE DES TABLES D'ACQUISITION

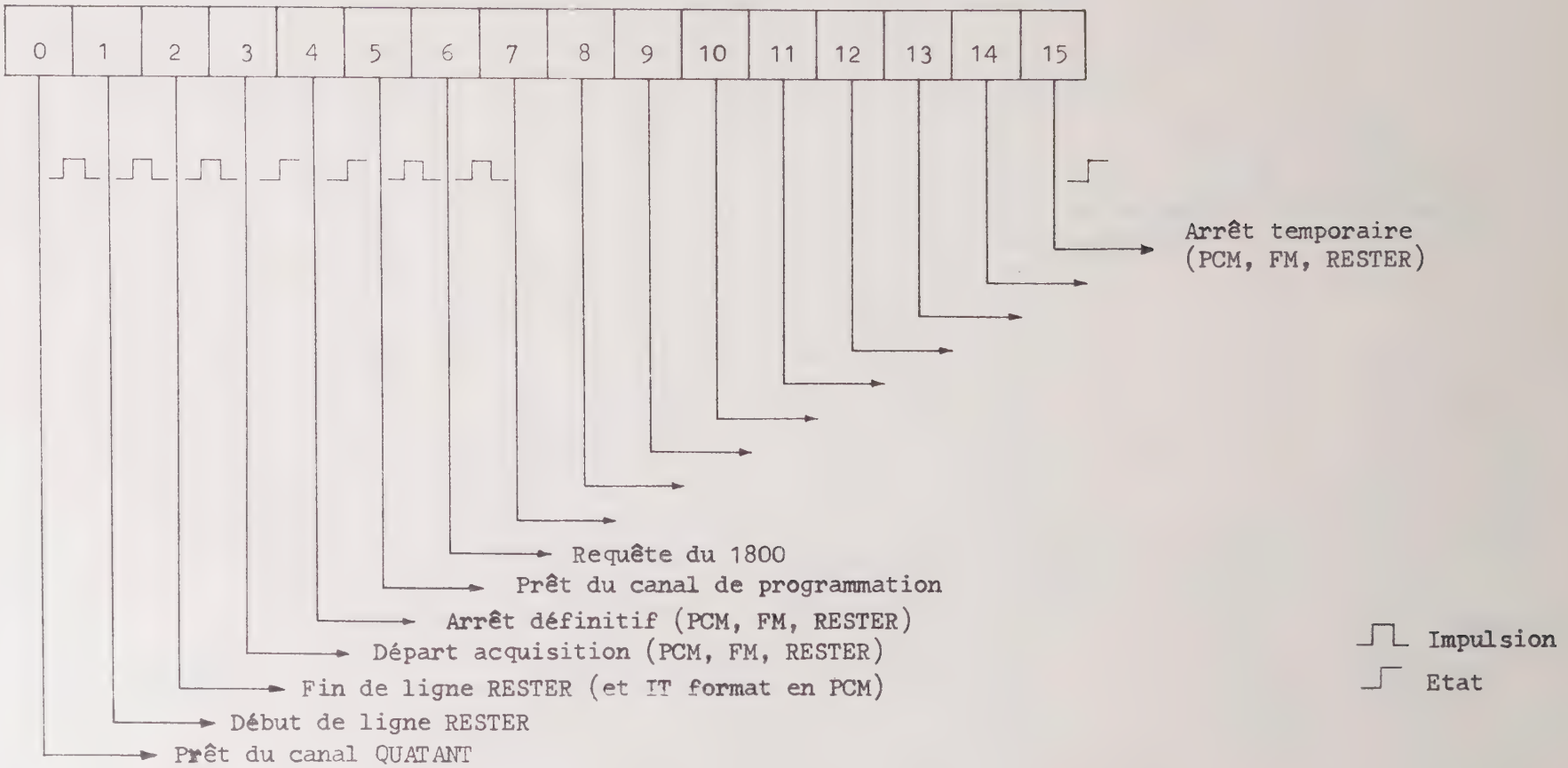
J - LOGIQUE DES PROGRAMMES D'ACQUISITION SUR IBM 1800

K - LOGIQUE DES PROGRAMMES D'ACQUISITION SUR IBM7



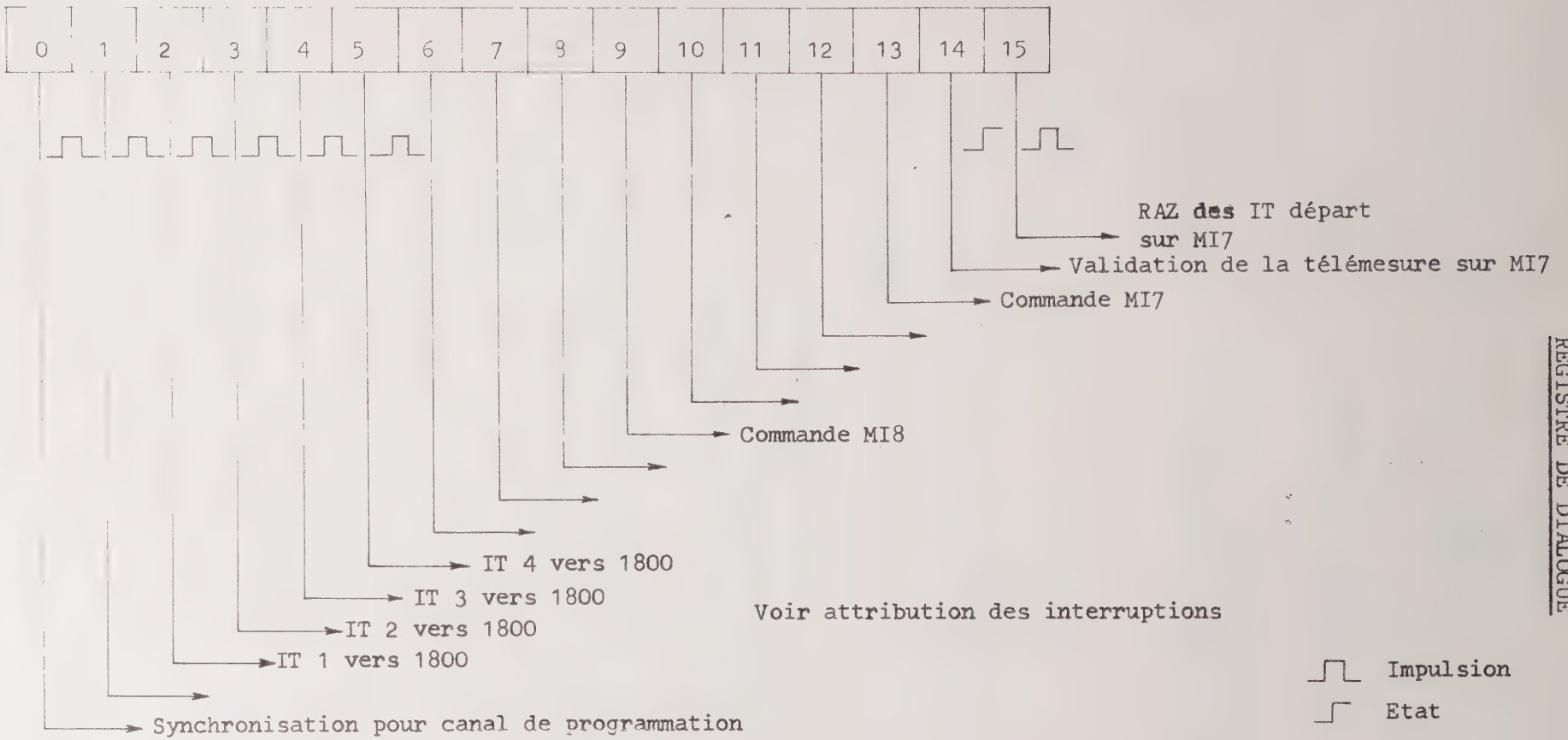
INTERRUPTIONS D'ACQUISITION

(RIP1)



INTERRUPTIONS DE SERVICE

(RIP2)



REGISTRE DE DIALOGUE (RSN2)

ANNEXE C

LOGIQUE DU SYSTEME IBM7

CHAPITRE I - PROGRAMMES IBM 1800

1 - LISTE

1.1 - FICHIERS : MIBM7 : bibliothèque de macroinstructions ibm7

1.2 - PROGRAMMES :

1.2.1 - charges-mémoire de batch

EDIT7 : Formattage standard IBM

RFORM : Formattage spécial CNES

1.2.2 - Charges-mémoire d'interruption

ITDEM : Démarrage de la liaison, chargement du moniteur

ITSYS : Traitement de l'interruption "REQUETE MONITEUR"

MONI7 : Demande d'exécution d'un travail IBM7 depuis un 2260

1.3 - SOUS-PROGRAMMES :

PMI7 : Programmation du MI7

DISK7 : Envoi d'informations depuis le disque 1800 vers l'IBM7

MASS7 : Envoi d'informations depuis la mémoire 1800 vers l'IBM7

EBCII : Conversion EBCDIC / ASCII / EBCDIC

DIQUA : Lecture du canal QUA

2 - FICHIERS

MIBM7 est la bibliothèque de macroinstructions indispensables au macro-assembleur IBM 1800 ; elle contient :

- PIO
- PSTP
- PEND

dans des versions simplifiées (pas de détection d'erreur dans les arguments).

L'original est disponible sur cartes.

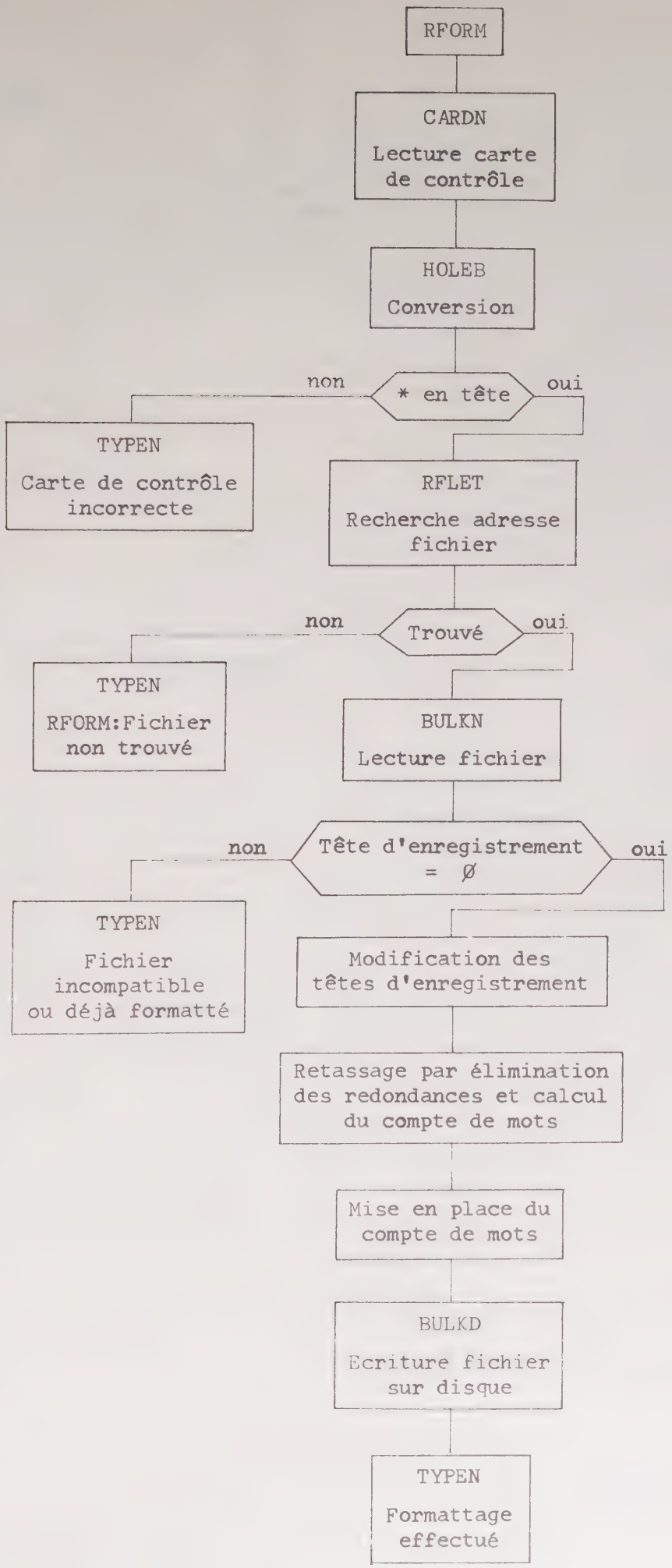
La bibliothèque MSP/7 (macroinstructions système) n'a pas été recopiée ; elle réside sur le PID n° 3.

3 - PROGRAMMES

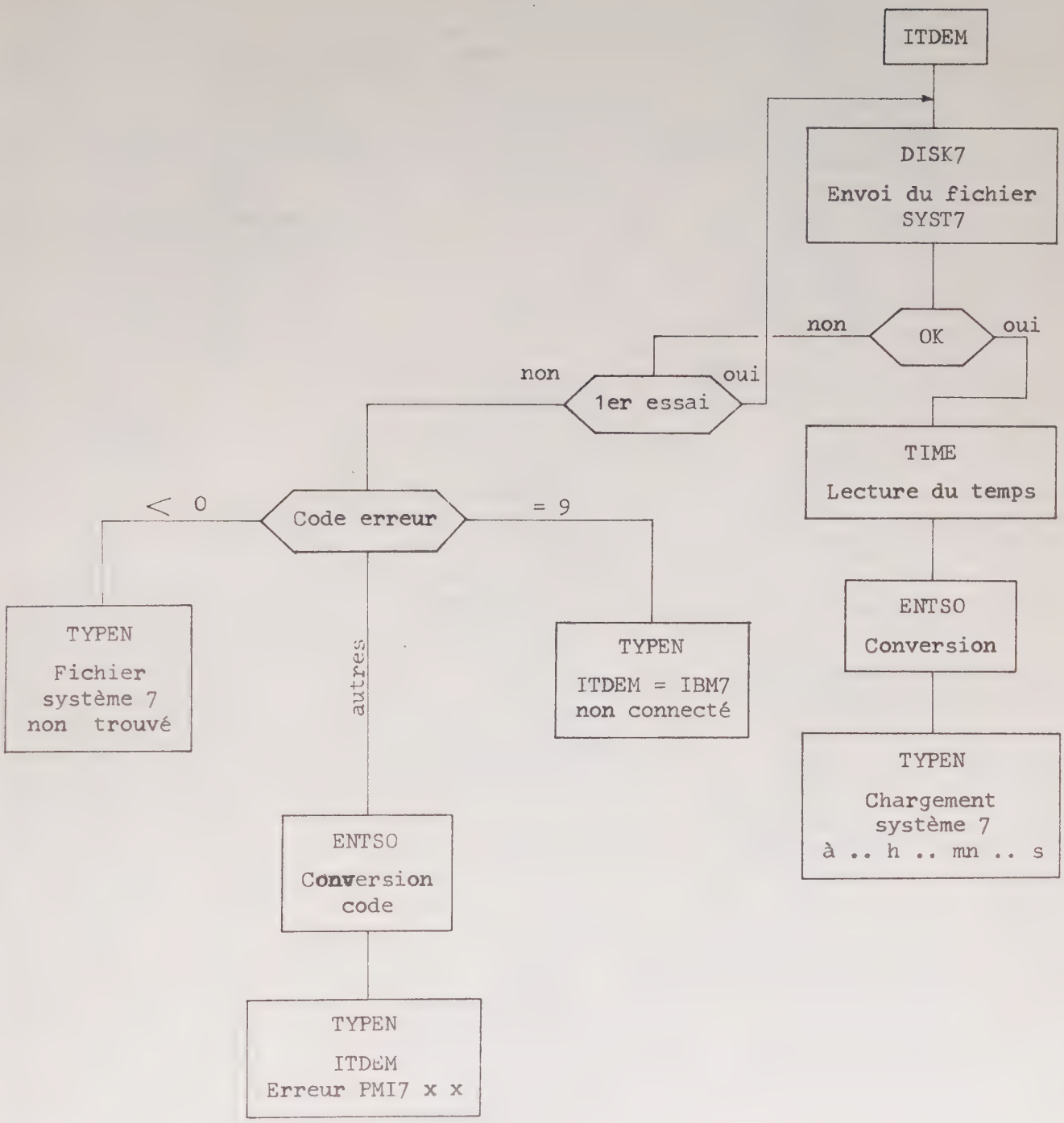
3.1 - EDIT7 : EDIT7 est le produit de la construction de EDIT, programme translatable livré par IBM.

Génération : Assembler la macroinstruction EDIT résidant sur le PID n° 3 (MSP/7) (cf Prog. Guide) ; construire EDIT7 à partir de EDIT.

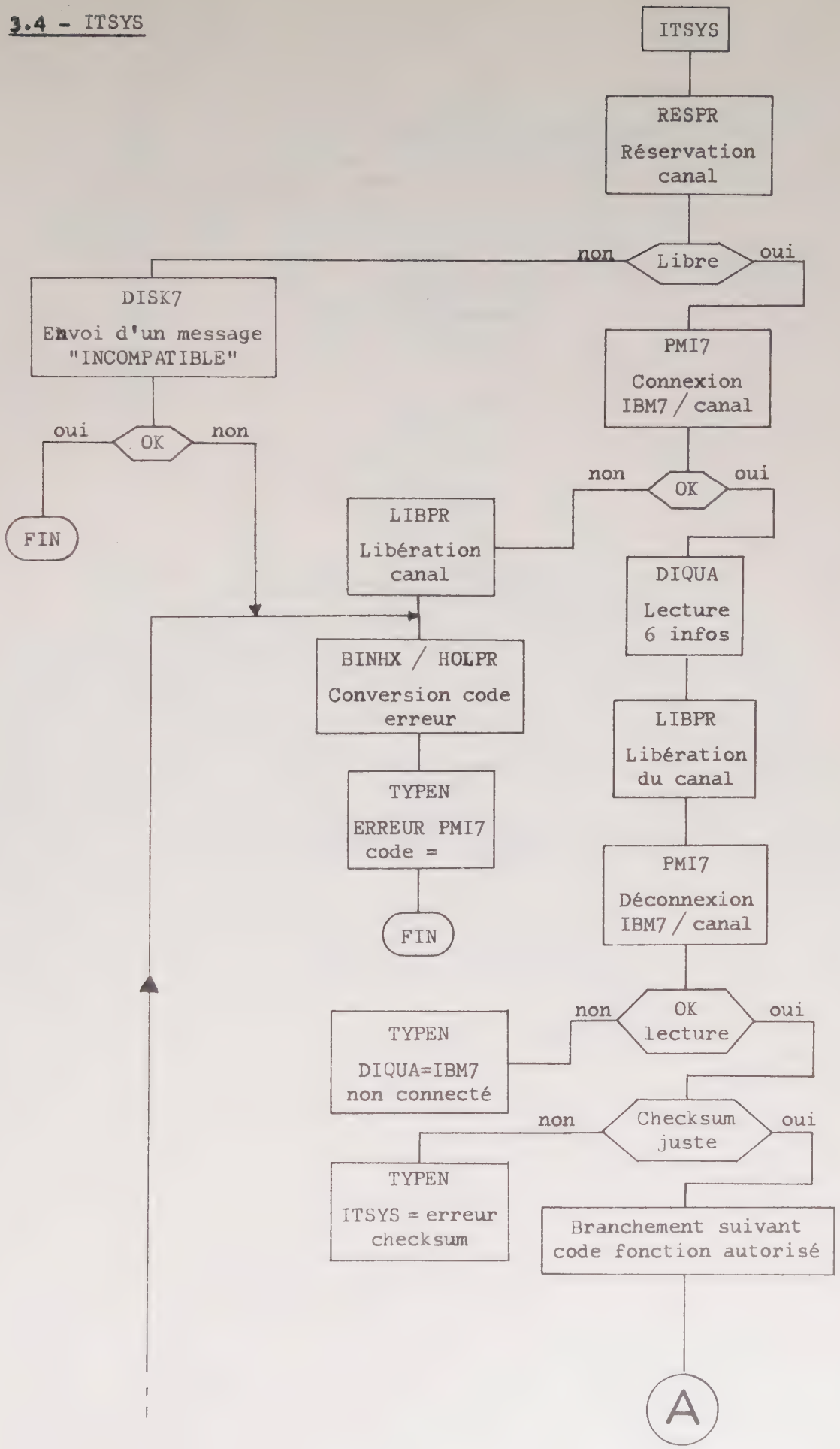
3.2 - RFORM : Charge-mémoire de batch ; elle traite les fichiers préformattés par EDIT7 pour les rendre compatibles avec le chargeur du moniteur IBM7 : modification des têtes d'enregistrement (cf notice Caractéristiques de Fonctionnement CH 2.2.8.2), suppression de toutes les redondances et calcul du nombre de mots.

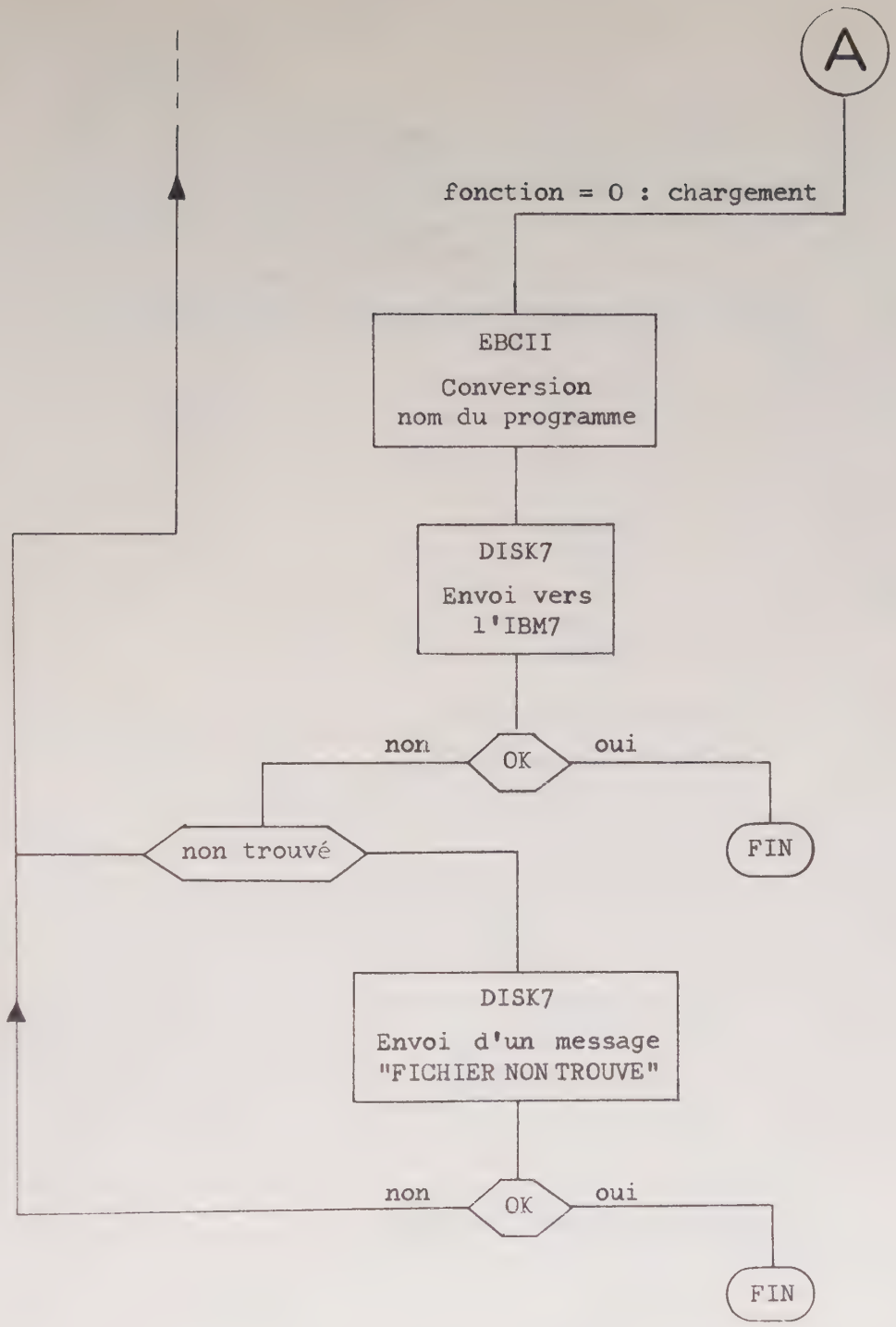

RFORM
CARDN
Lecture carte de contrôle
HOLEB
Conversion
non
* en tête
oui
TYPEN
Carte de contrôle incorrecte
RFLET
Recherche adresse fichier
non
Trouvé
oui
TYPEN
RFORM:Fichier non trouvé
BULKN
Lecture fichier
non
Tête d'enregistrement = Ø
oui
TYPEN
Fichier incompatible ou déjà formatté
Modification des têtes d'enregistrement
Retassage par élimination des redondances et calcul du compte de mots
Mise en place du compte de mots
BULKD
Ecriture fichier sur disque
TYPEN
Formattage effectué

3.3 ITDEM


ITDEM
DISK7
Envoi du fichier SYST7
non
OK
oui
non
1er essai
oui
TIME
Lecture du temps
< 0
Code erreur
= 9
ENTSO
Conversion
TYPEN
Fichier système 7 non trouvé
autres
TYPEN
ITDEM = IBM7 non connecté
TYPEN
Chargement système 7 à .. h .. mn .. s
ENTSO
Conversion code
TYPEN
ITDEM
Erreur PMI7 x x

3.4 - ITSYS

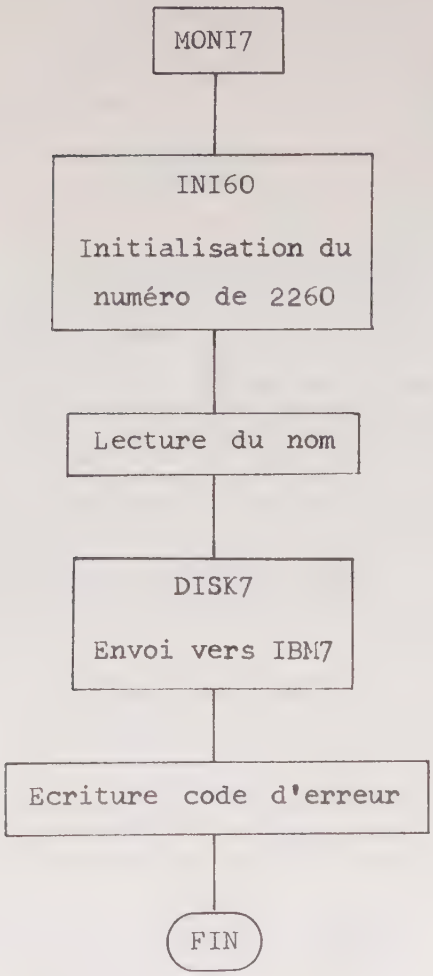

ITSYS
RESPR
Réservation canal
non
Libre
oui
DISK7
Envoi d'un message "INCOMPATIBLE"
PMI7
Connexion IBM7 / canal
oui
OK
non
non
OK
oui
FIN
LIBPR
Libération canal
DIQUA
Lecture 6 infos
BINHX / HOLPR
Conversion code erreur
LIBPR
Libération du canal
TYPEN
ERREUR PMI7 code =
PMI7
Déconnexion IBM7 / canal
FIN
non
OK lecture
oui
TYPEN
DIQUA=IBM7 non connecté
non
Checksum juste
oui
TYPEN
ITSYS = erreur checksum
Branchement suivant code fonction autorisé
A


A
fonction = 0 : chargement
EBCII
Conversion
nom du programme
DISK7
Envoi vers
l'IBM7
non
OK
oui
non trouvé
FIN
DISK7
Envoi d'un message
"FICHIER NON TROUVE"
non
OK
oui
FIN

3.5 - MONI7

MONI7 est une charge-mémoire "processus" appelable par les moniteurs 2260 ; il permet d'envoyer vers l'IBM7 un programme ou un fichier dont on donne le nom à l'écran.

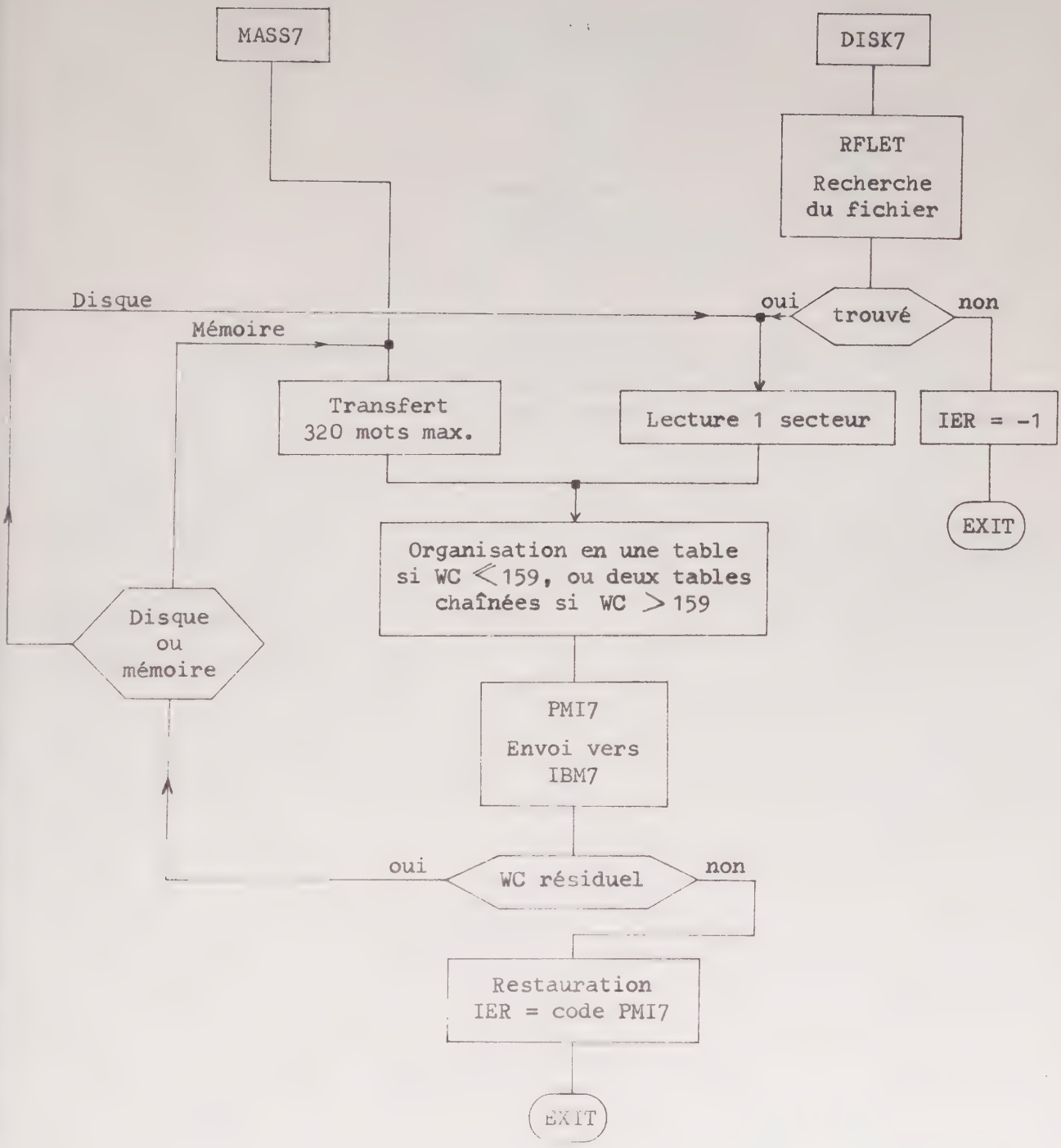
Le code d'erreur de PMI7 est visualisé sur l'écran.



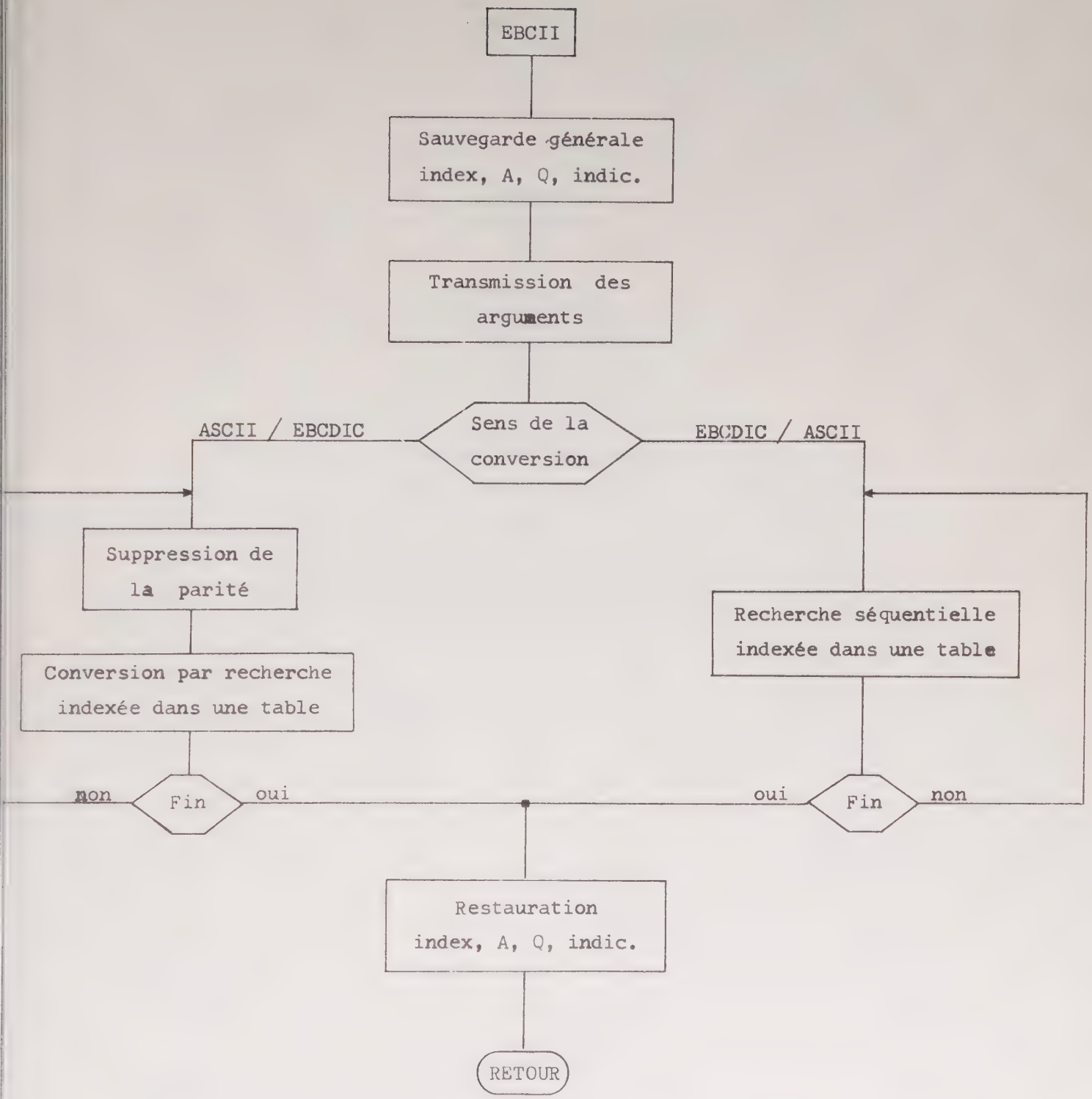
4 - SOUS - PROGRAMMES

4.1 - PMI7 : Programmation du MI7 . Cf notice "Module d'interconnexion MI7"

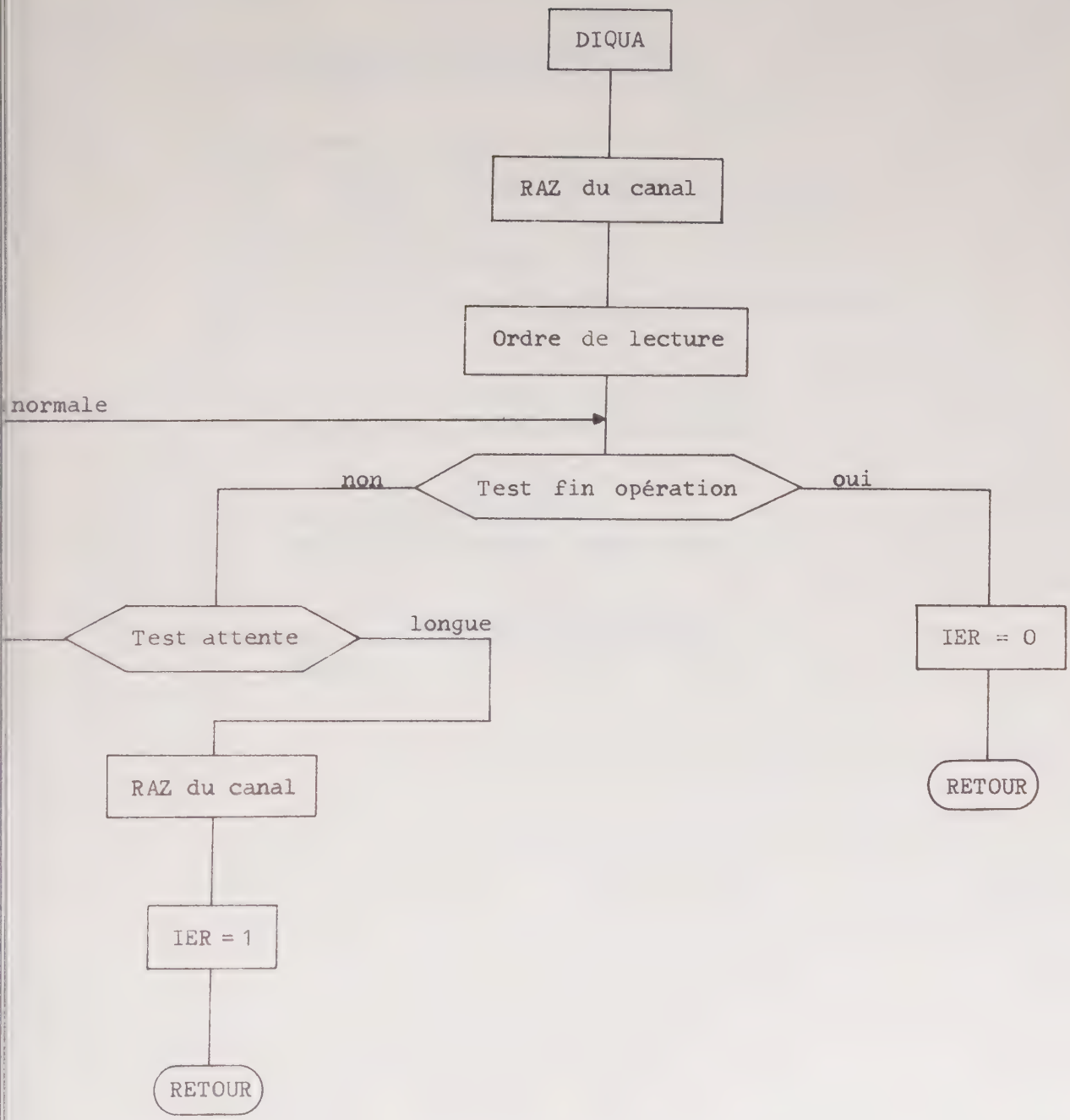
4.2 - DISK7 / MASS7



4.3 - EBCII


EBCII
Sauvegarde générale
index, A, Q, indic.
Transmission des
arguments
Sens de la
conversion
ASCII / EBCDIC
EBCDIC / ASCII
Suppression de
la parité
Conversion par recherche
indexée dans une table
Recherche séquentielle
indexée dans une table
non
Fin
oui
oui
Fin
non
Restauration
index, A, Q, indic.
RETOUR

4.4 - DIQUA


DIQUA
RAZ du canal
Ordre de lecture
normale
non
Test fin opération
oui
Test attente
longue
IER = 0
RAZ du canal
RETOUR
IER = 1
RETOUR

CHAPITRE II - PROGRAMMES IBM7

1 - LISTE

1.1 - PROGRAMMES STOCKES SUR DISQUE

SYST7 : moniteur IBM7
INCO : message d'erreur à diriger vers l'IBM7
NONTR : message d'erreur à diriger vers l'IBM7
DUMP : routine de dump
PTASM : assembleur bande papier stocké sur disque

1.2 - PROGRAMMES STOCKES SUR BANDE PAPIER

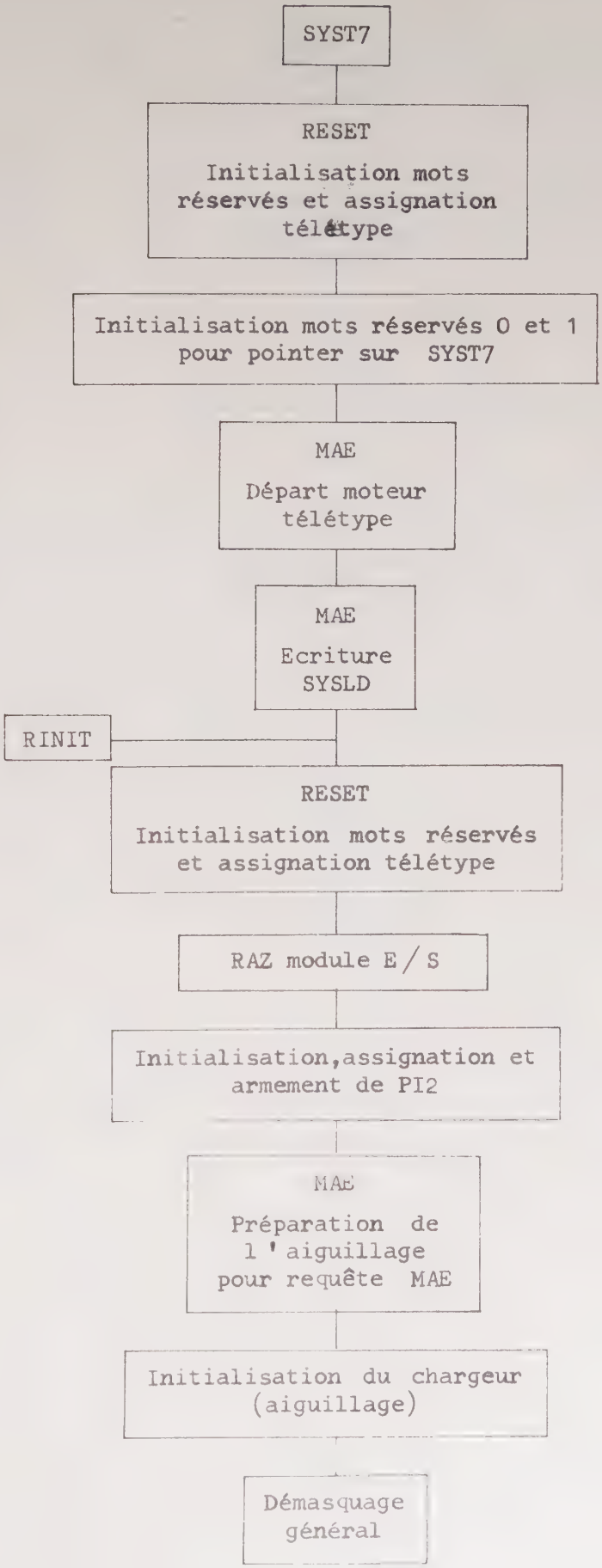
1.2.1 - Programmes IBM :

UZERO, UPIPL, UPDMP, UPATC, PTASM

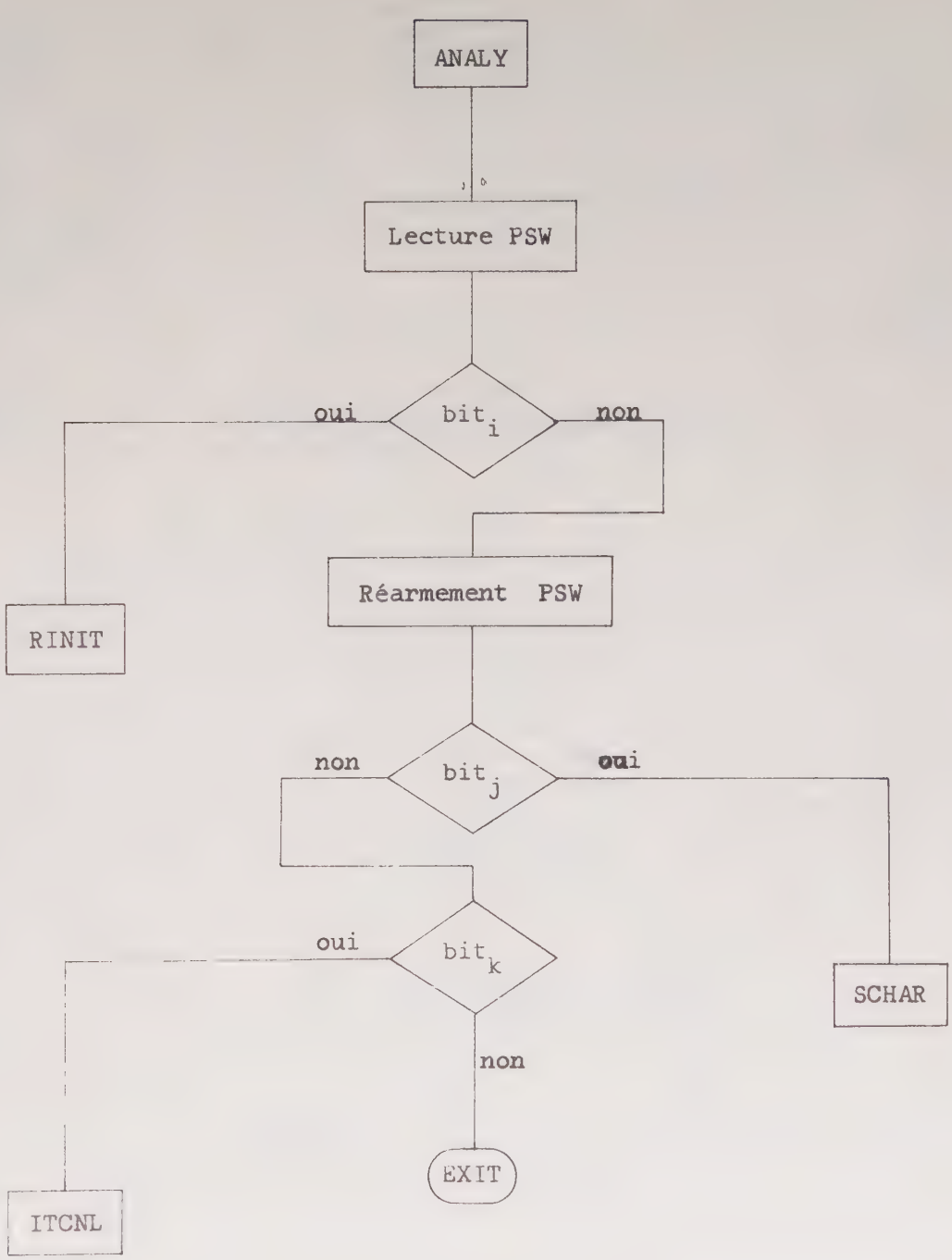
1.2.2 - Bootstrap de démarrage :

DEMAR

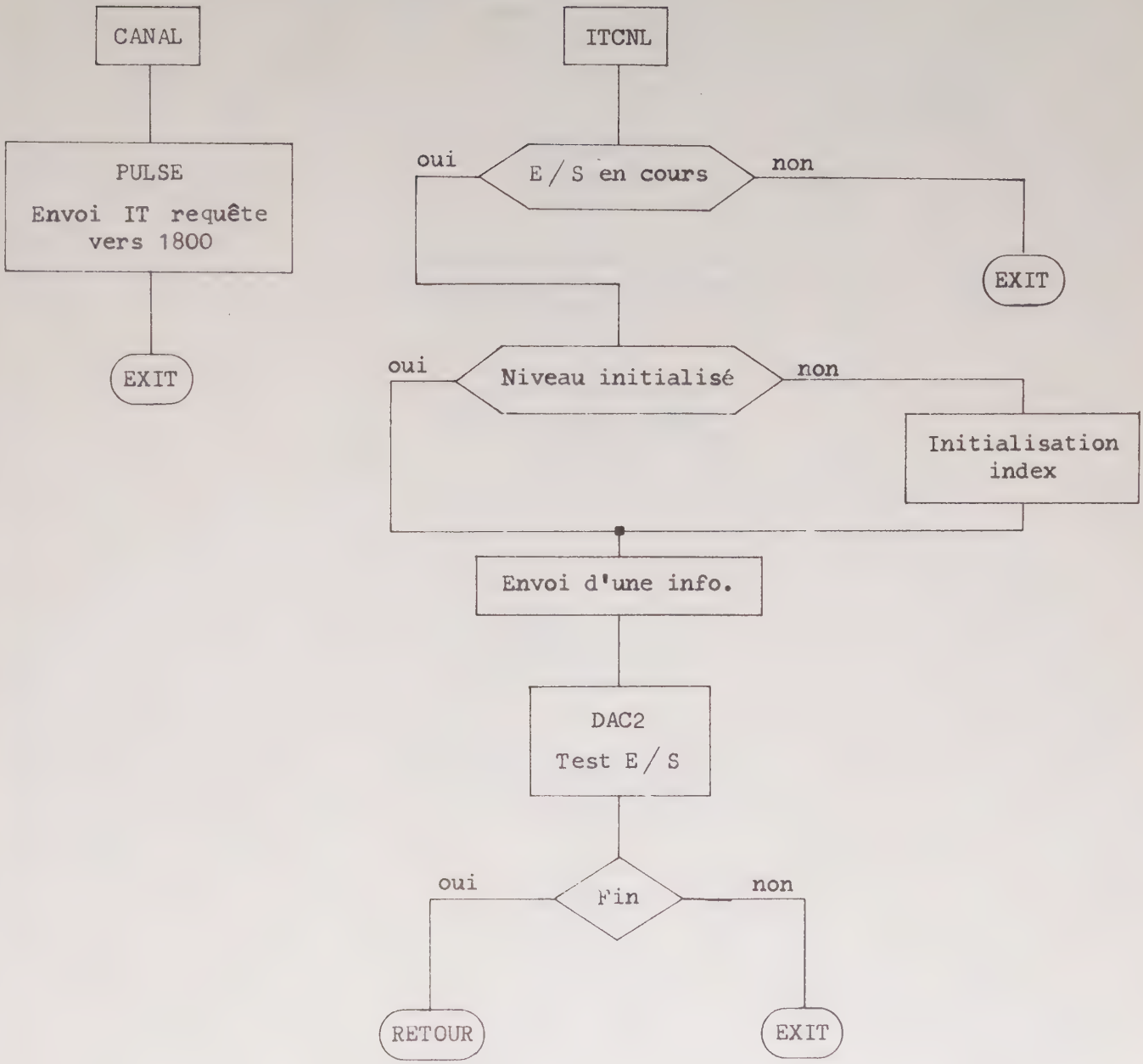
2.1 - INITIALISATION / REINITIALISATION (SYST7 / RINIT)



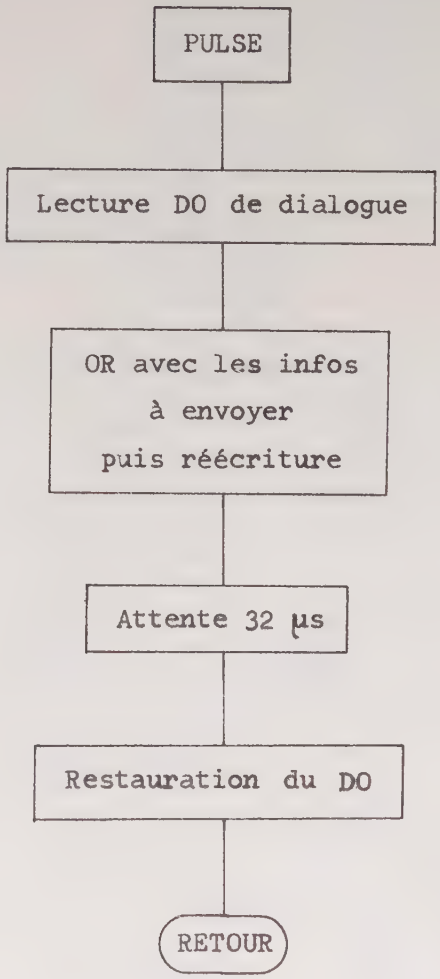
2.2 - TRAITEMENT DES INTERRUPTIONS DE DIALOGUE (ANALY)



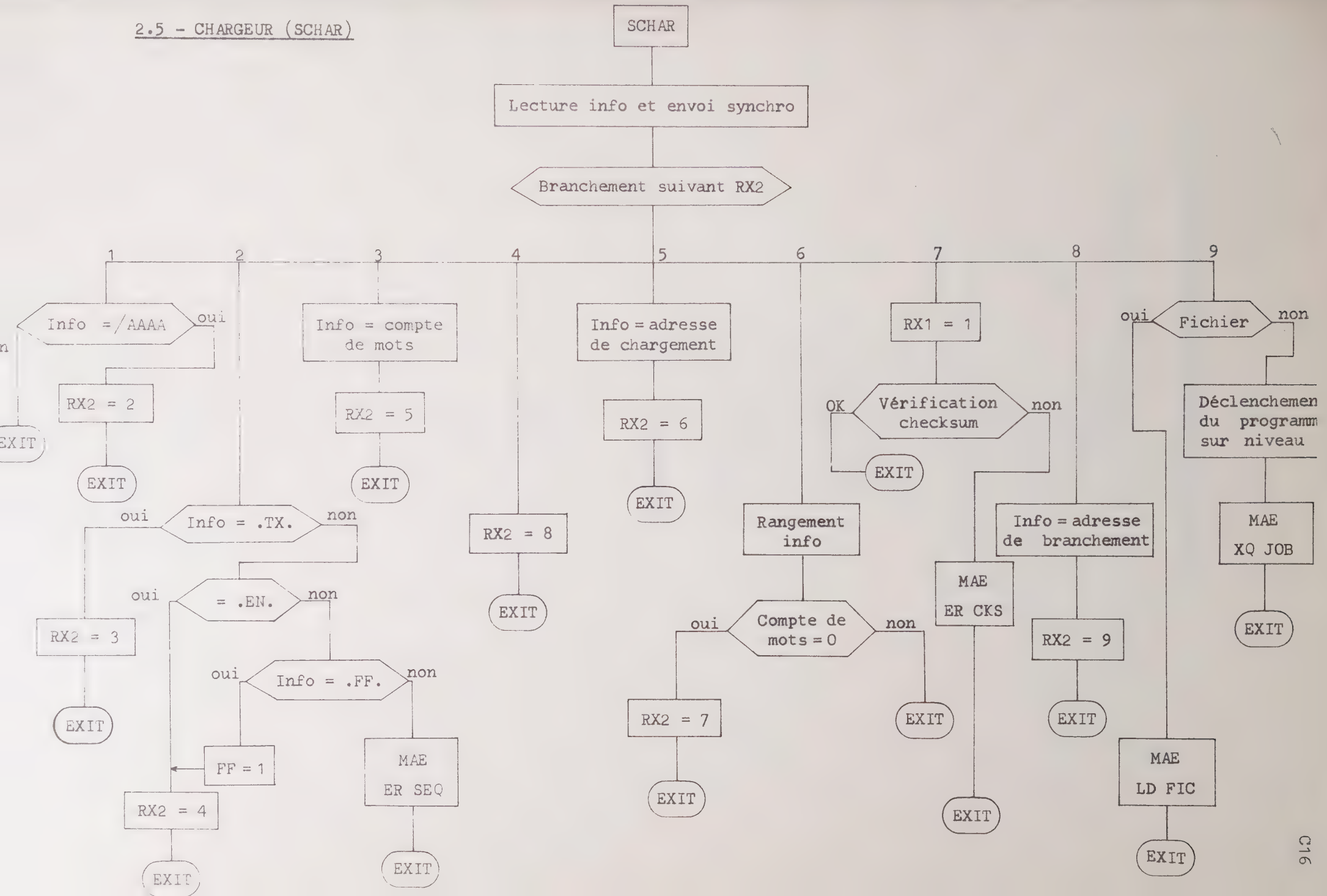
2.3 - ENVOI DE FICHIER VERS LE 1800 (CANAL)



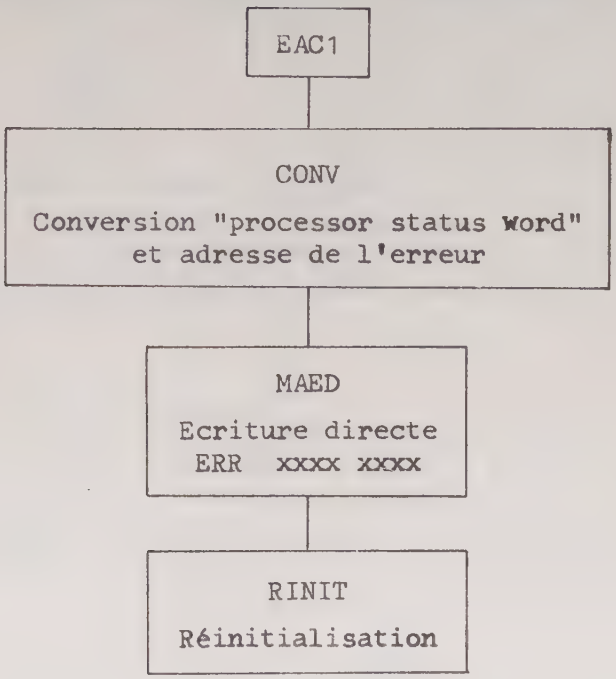
2.4 - ENVOI D'IMPULSION VERS LE 1800



2.5 - CHARGEUR (SCHAR)



2.6 - TRAITEMENT DES ERREURS (EAC1, EAC2, EAC3)



Erreur de programme

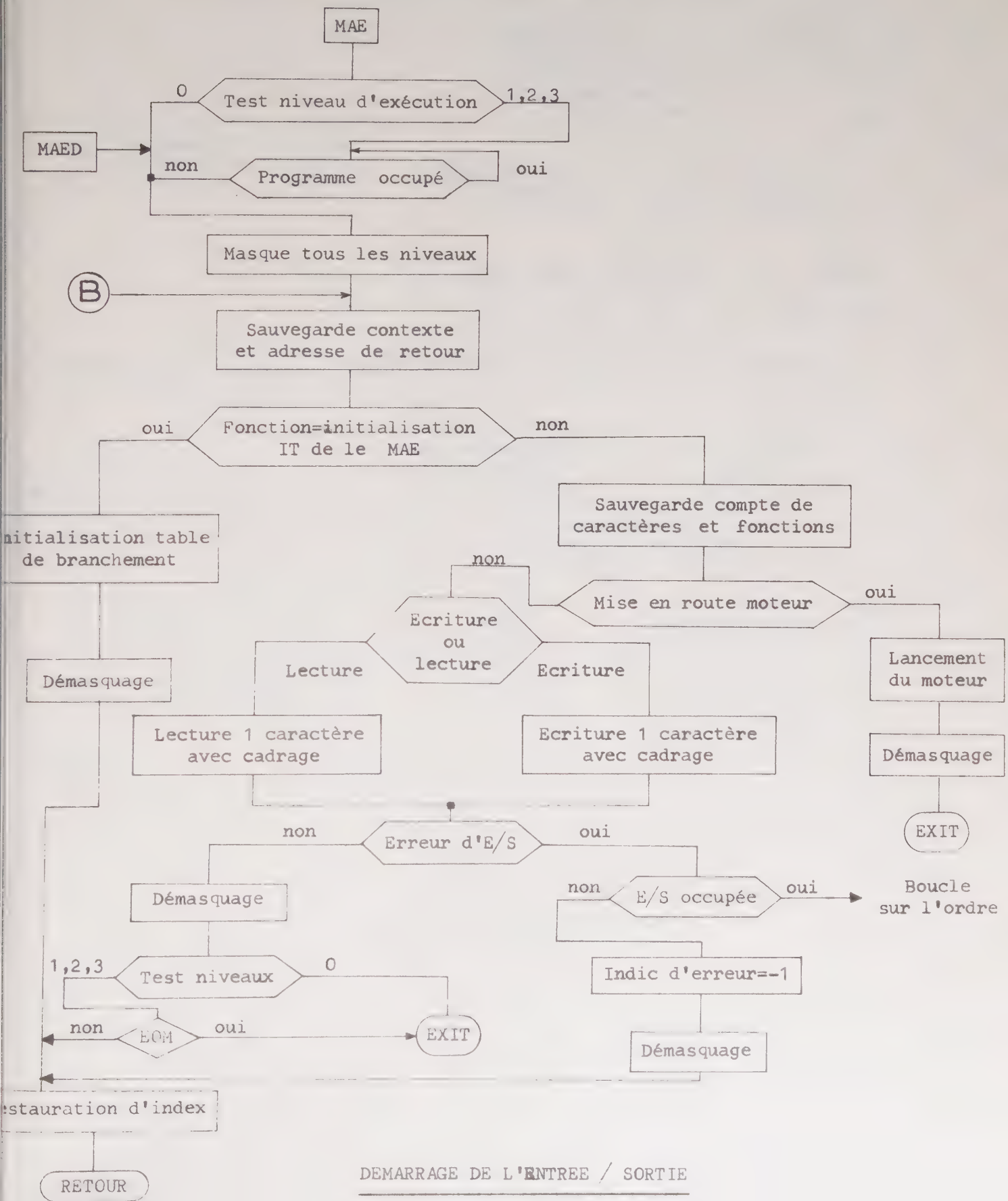
Erreur de parité

Chute de tension

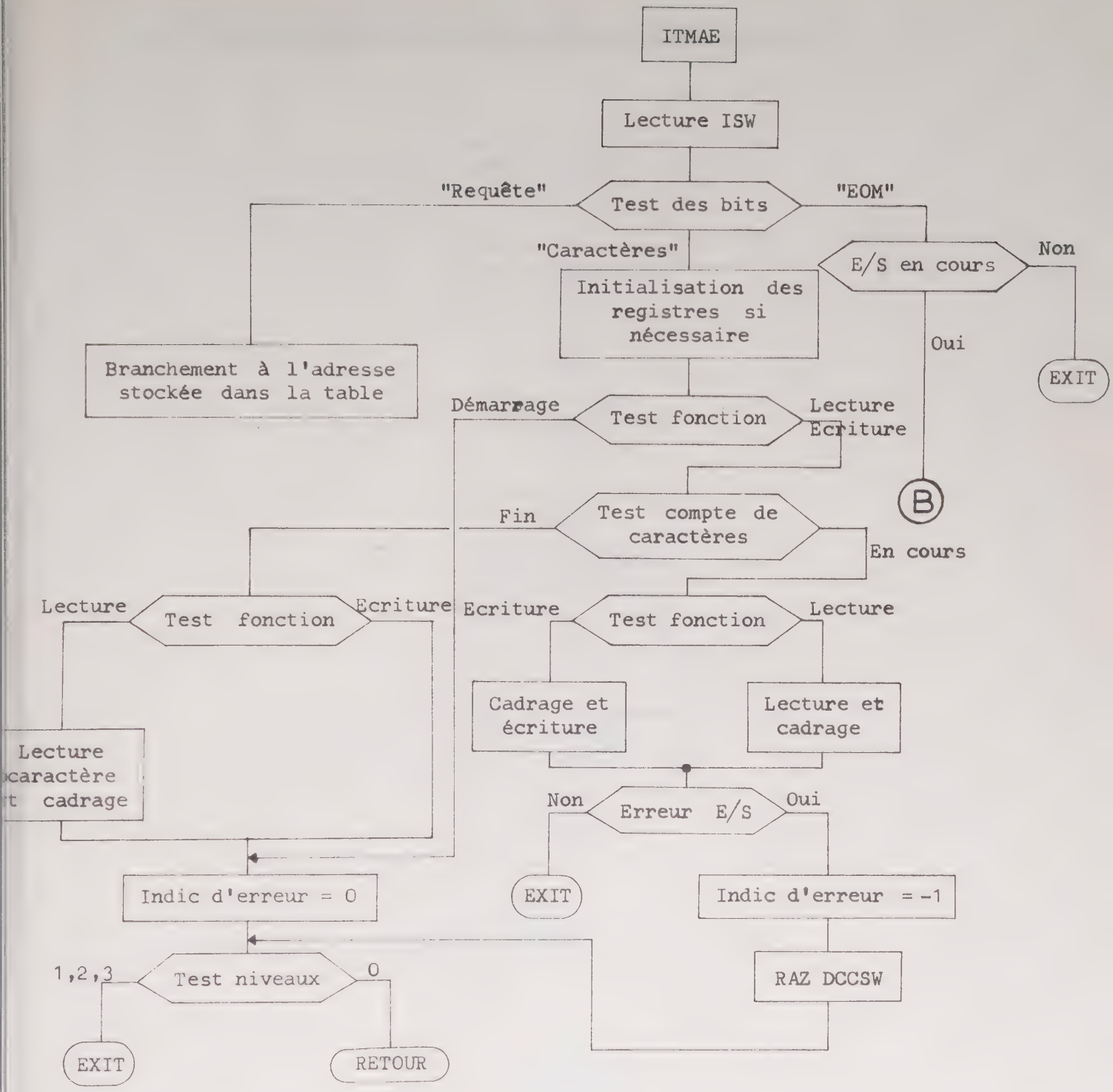
2.7 - SOUS-PROGRAMME CONV (Binaire/hexa/ASCII)

Le nombre converti est en ASCII sans bit de parité.

2.8 - ENTREE-SORTIE SUR LA MACHINE A ECRIRE (MAE, MAED)

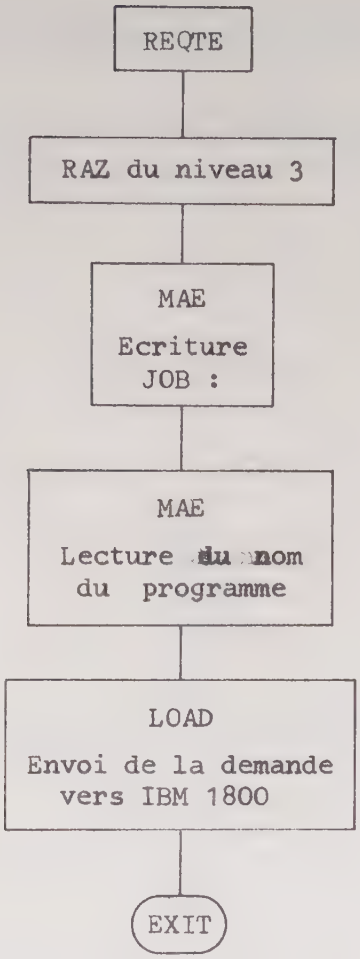


DEMARRAGE DE L'ENTREE / SORTIE

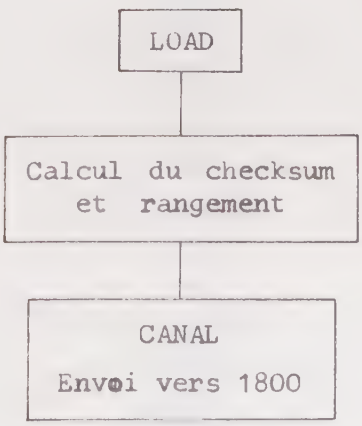


TRAITEMENT DES INTERRUPTIONS

2.9 - APPEL D'UNE TACHE PAR LA MACHINE A ECRIRE (REQTE)



2.10 - REQUETE DE CHARGEMENT (LOAD)



3 - AUTRES PROGRAMMES STOCKES SUR DISQUE

3.1 - INCO, NONTR

Ils éditent un message sur la machine à écrire :

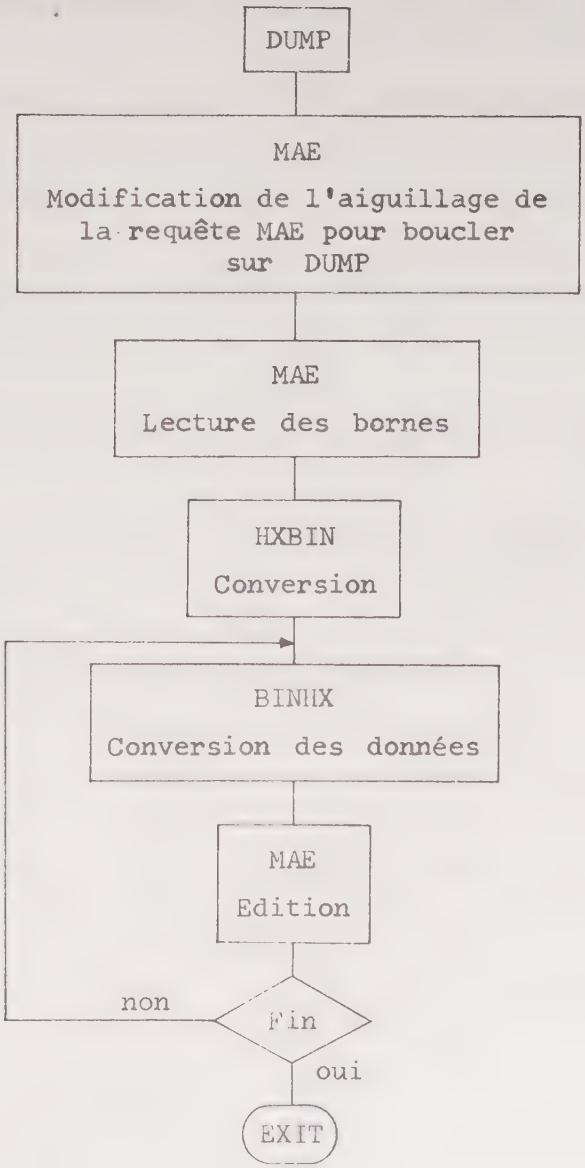
INCO : " CANAL QUA OCCUPE, DEMANDE INCOMPATIBLE "

NONTR : " FICHIER NON TROUVE "

3.2 - PTASM

Assembleur bande papier stocké sur disque.

3.3 - DUMP



4 - PROGRAMMES STOCKES SUR RUBAN

4.1 - ROUTINES IBM : Voir Programming Guide

4.2 - BOOTSTRAP :

Afin d'accélérer la procédure de démarrage, nous avons réalisé un bootstrap spécial, chargeable automatiquement dans les adresses 0 à 127.

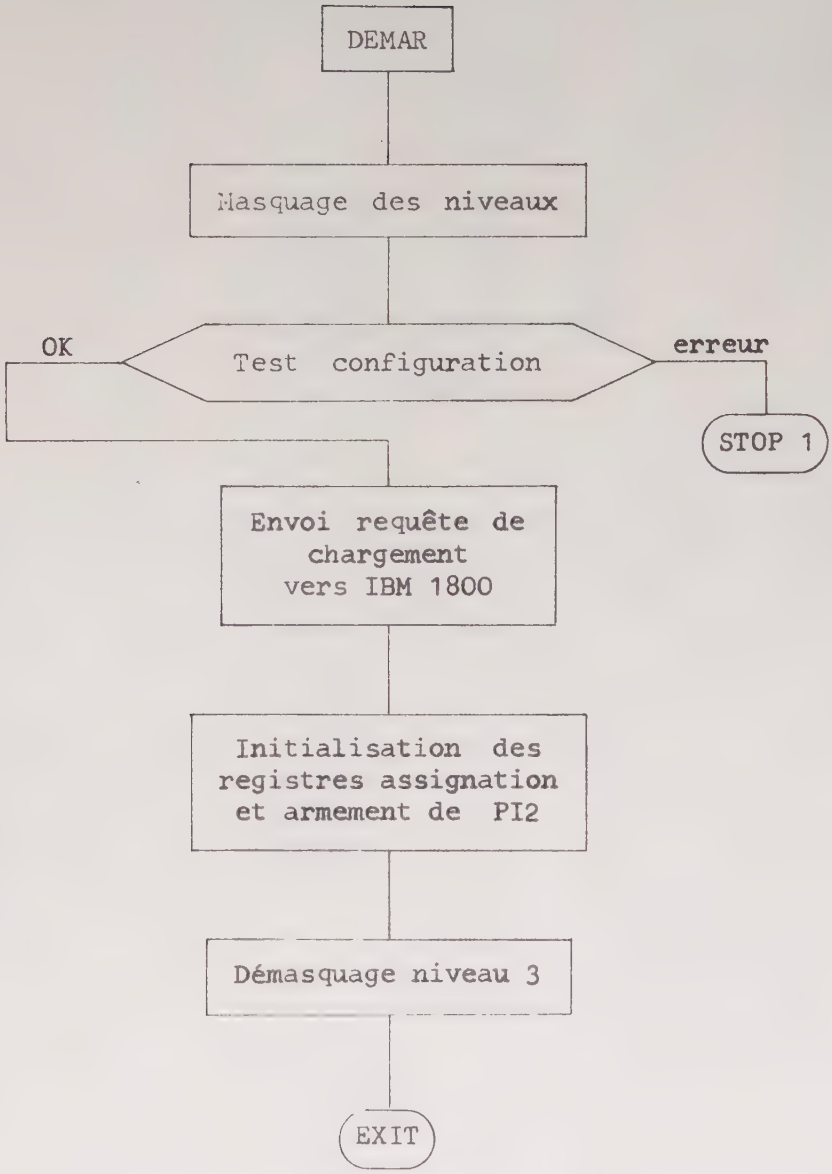
Procédure d'assemblage du bootstrap :

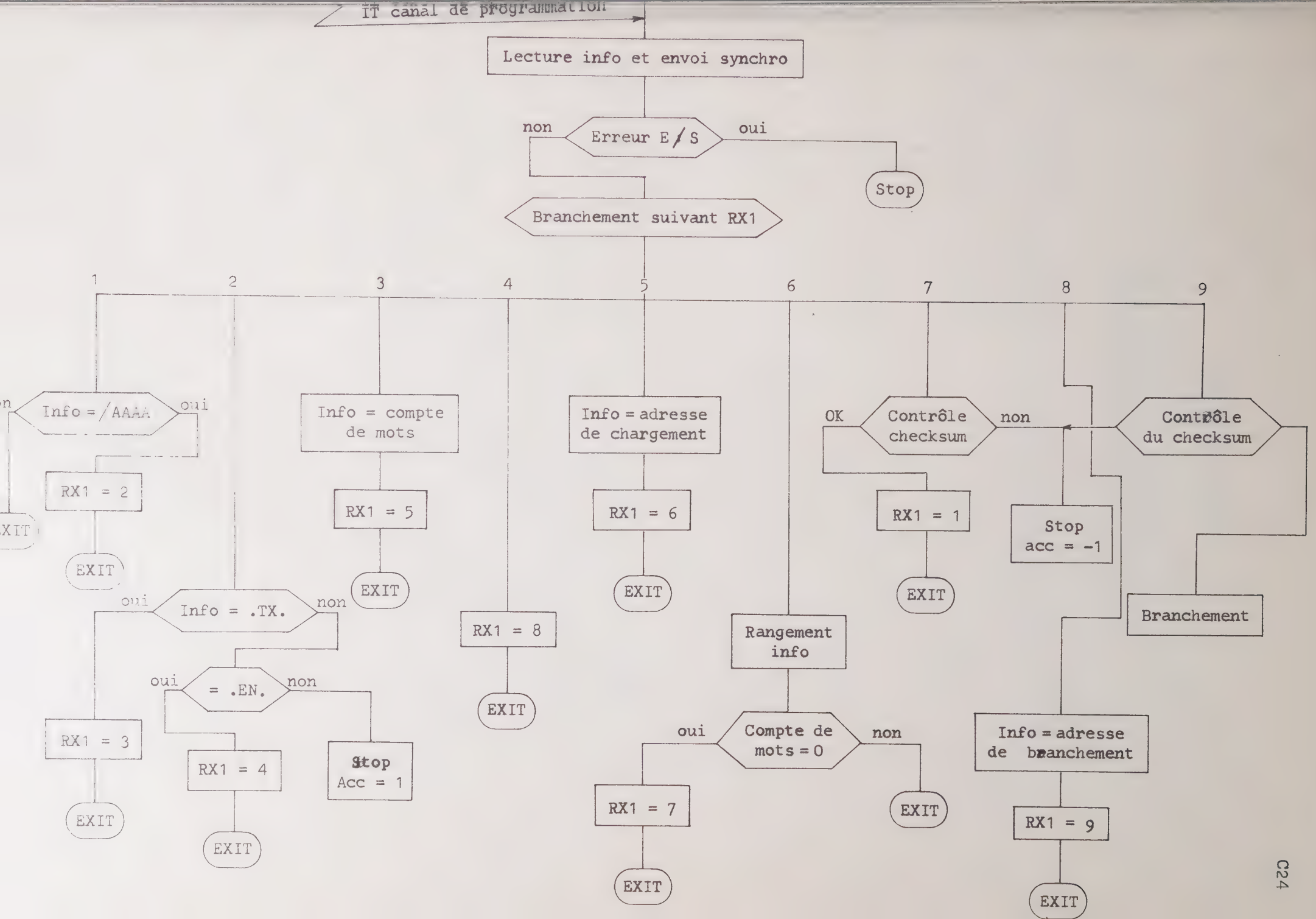
- Le programme est écrit avec une origine en /1000 ; toutes les adresses absolues doivent être diminuées de 4096 (/1000)
- Assembler le programme et générer la bande objet
- Charger avec UPIPL sans exécuter (arrêt sur adresse 0)
- Charger la routine IBM UPDMP et dumper sur bande papier le programme
- Sur la bande obtenue, ôter les quatre mots de tête.

La bande ainsi obtenue est chargeable automatiquement par appui sur la touche "CHARGEMENT".

Une modification de bootstrap est nécessaire si :

- La configuration IBM7 est modifiée
- L'affectation des registres d'entrée information ou de sortie dialogue est modifiée.


DEMAR
Masquage des niveaux
OK
Test configuration
erreur
STOP 1
Envoi requête de chargement vers IBM 1800
Initialisation des registres assignation et armement de PI2
Démasquage niveau 3
EXIT


IT canal de programmation
Lecture info et envoi synchro
non
Erreur E / S
oui
Stop
Branchement suivant RX1
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Info = /AAAA
oui
RX1 = 2
EXIT
Info = compte de mots
RX1 = 5
EXIT
Info = adresse de chargement
RX1 = 6
EXIT
OK
Contrôle checksum
non
RX1 = 1
EXIT
Contrôle du checksum
Stop acc = -1
Branchement
oui
Info = .TX.
non
oui
= .EN.
non
RX1 = 3
EXIT
RX1 = 4
EXIT
Stop Acc = 1
RX1 = 8
EXIT
Rangement info
oui
Compte de mots = 0
non
RX1 = 7
EXIT
EXIT
Info = adresse de branchement
RX1 = 9
EXIT
C24

ANNEXE D - TABLES

MOTS RESERVES DU DEBUT DE LA MEMOIRE

0	Branchement long au point d'entrée du moniteur
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	Adresse du début de traitement des erreurs - programme
10	Adresse du début de traitement des chutes de tension
11	Adresse du début de traitement des erreurs - machine
12	Adresse instruction en cours lors de la chute de tension
13	Adresse instruction en cours lors de l'erreur-machine
14	
15	
16	P.E. de la table de branchement niveau 0 dans le moniteur
17	P.E. de la table de branchement niveau 1 dans le moniteur
18	Réservé niveau 2
19	P.E. de la table de branchement niveau 3 dans le moniteur

TABLES D'ADRESSE DES PROGRAMMES D'INTERRUPTIONS

NIVEAU	SOUS NIVEAU	ATTRIBUTION
0	-	Réservé
0	0	Interruptions programmées
0	1	Machine à écrire
0	2	Interruptions d'acquisition (PI1)
1	-	Réservé
1	0	Interruptions programmées
1	1	Dialogue sous moniteur (PI2)
1	2	Dialogue en acquisition (PI2)
3	-	Réservé
3	0	Déclenchement des programmes utilisateurs
3	1	Libre

TABLES DE CHAINAGE

ADRESSES HEXA	SIGNIFICATION
17FE	S/P d'entrée-sortie sur machine à écrire
17FC	Traitement des erreurs programme
17FA	Traitement des erreurs machine
17F8	Traitement des chutes de tension
17F6	S/P de conversion binaire / hexa / ASCII
17F5	S/P d'envoi de données au 1800
17F4	S/P d'envoi d'interruptions au 1800
17F2	S/P de réinitialisation des mots réservés
17F0	Réinitialisation du moniteur
17EF	S/P de chargement de fichiers et programmes
17EE	Adresse table d'interruption niveau 0
17ED	Adresse table d'interruption niveau 1
17EC	Adresse table d'interruption niveau 3

ANNEXE E

ASSEMBLAGE ET FORMATTAGE

D'UN PROGRAMME IBM7

```
// ASM NONTR
*PUNCH
*LIST
*MACLIB MIBM7                                   BIBLIOTHEQUE DE MACROS IBM7
*ASM7
                        SPAC    20
                    ************************************************************
                    *                                                          *
                    *   PROGRAMME ENVOYE VERS L'IBM7 SI LE FICHIER             *
                    *         DEMANDE N'EST PAS TROUVE                         *
                    *                                                          *
                    ************************************************************
                        EJCT
                    RX7 PEQU    7
                    MAE PEQU    /17FE       LIAISON AVEC LE MONITEUR
                        PORG    /80
                    NONTR PEQU  *
                        PBALL   MAE,RX7     ECRITURE SUR TELETYPE
                        PDC     1
                        PDC     MSG
                        PDC     0
                        PLEX                SORTIE IMMEDIATE
                    MSG PDC     20   CC
                        PDC     /8D0A       CR/LF
                        PDC     /C6C9       FI
                        PDC     /C348       CH
                        PDC     /C9C5       IE
                        PDC     /D2A0       R
                        PDC     /4ECF       NO
                        PDC     /4EA0       N
                        PDC     /D4D2       TR
                        PDC     /CF55       OU
                        PDC     /56C5       VE
                        PEND    NONTR       FIN D ASSEMBLAGE IBM7
                        END     *           FIN DE TRAVAIL DU MACROASS.
// *                        CONSTRUCTION DU FICHIER-DISQUE
// XEQ EDIT7   FX
*     D                  NONTR
// *                        FORMATTAGE
// XEQ REORM   FX
*                        NONTR
```

ANNEXE F

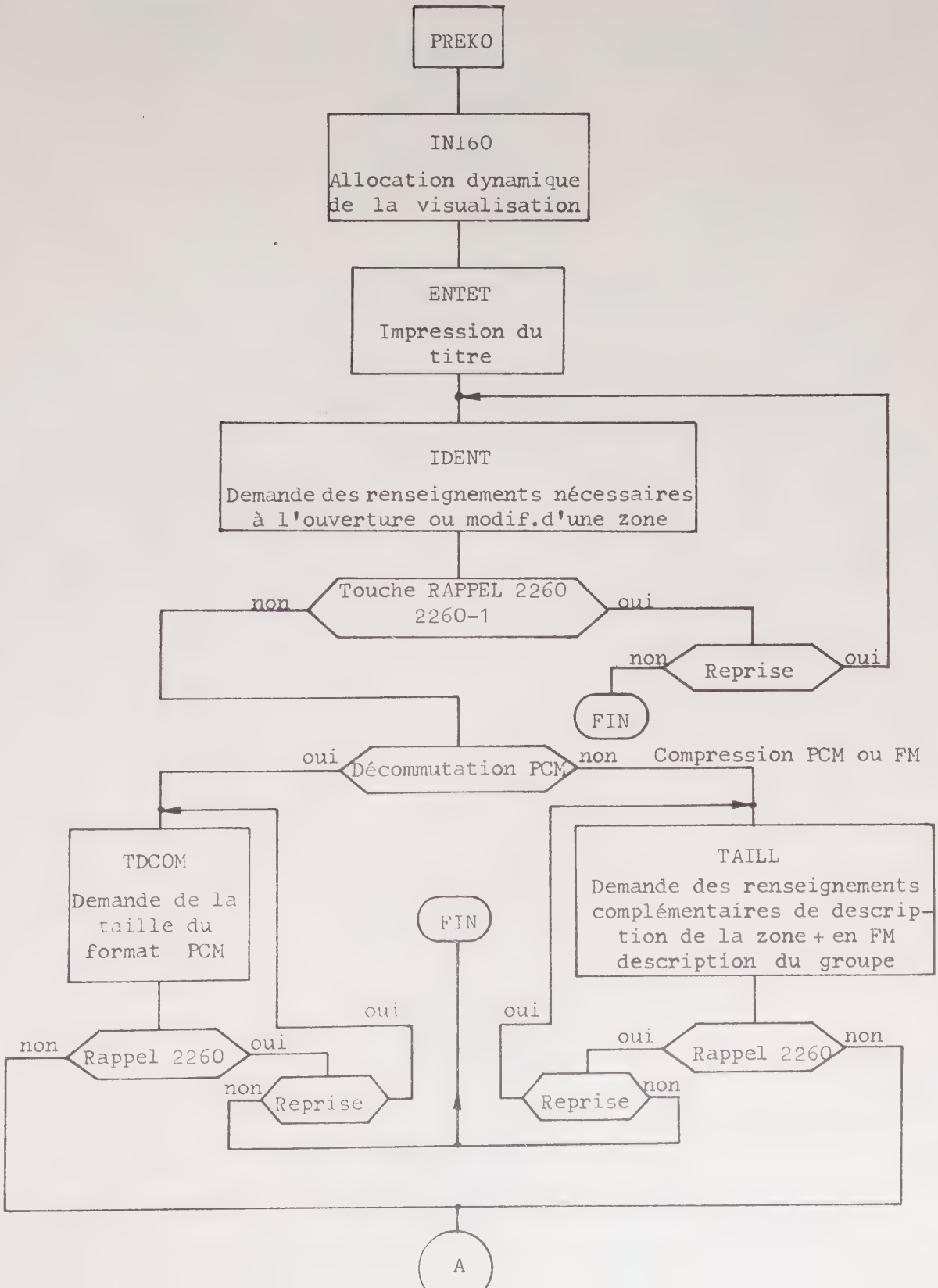
FORTRAN 2260

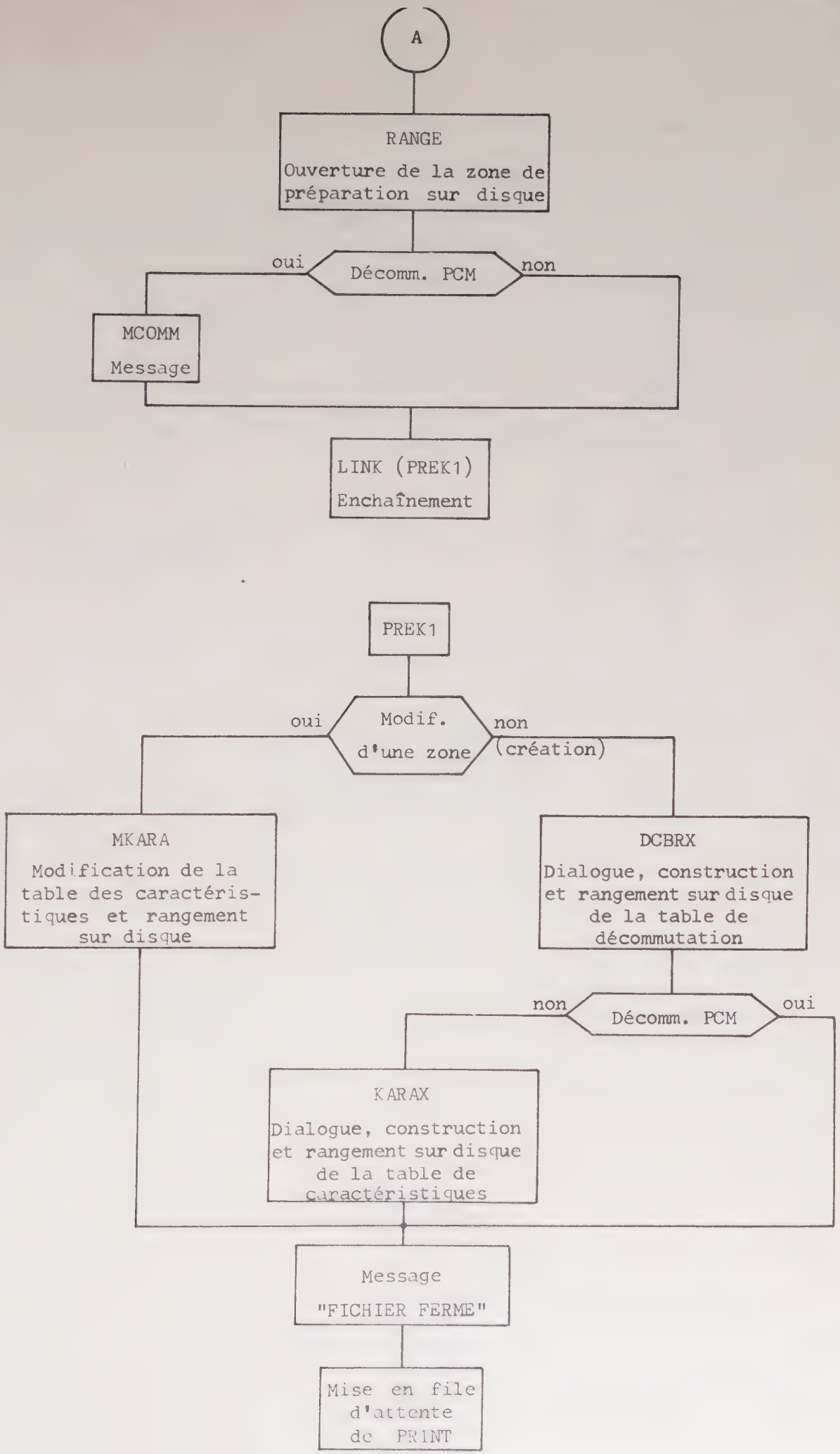
```
// FOR
*LIST ALL
*PUNCH
*ONE WORD INTEGERS
C
CCCC
```

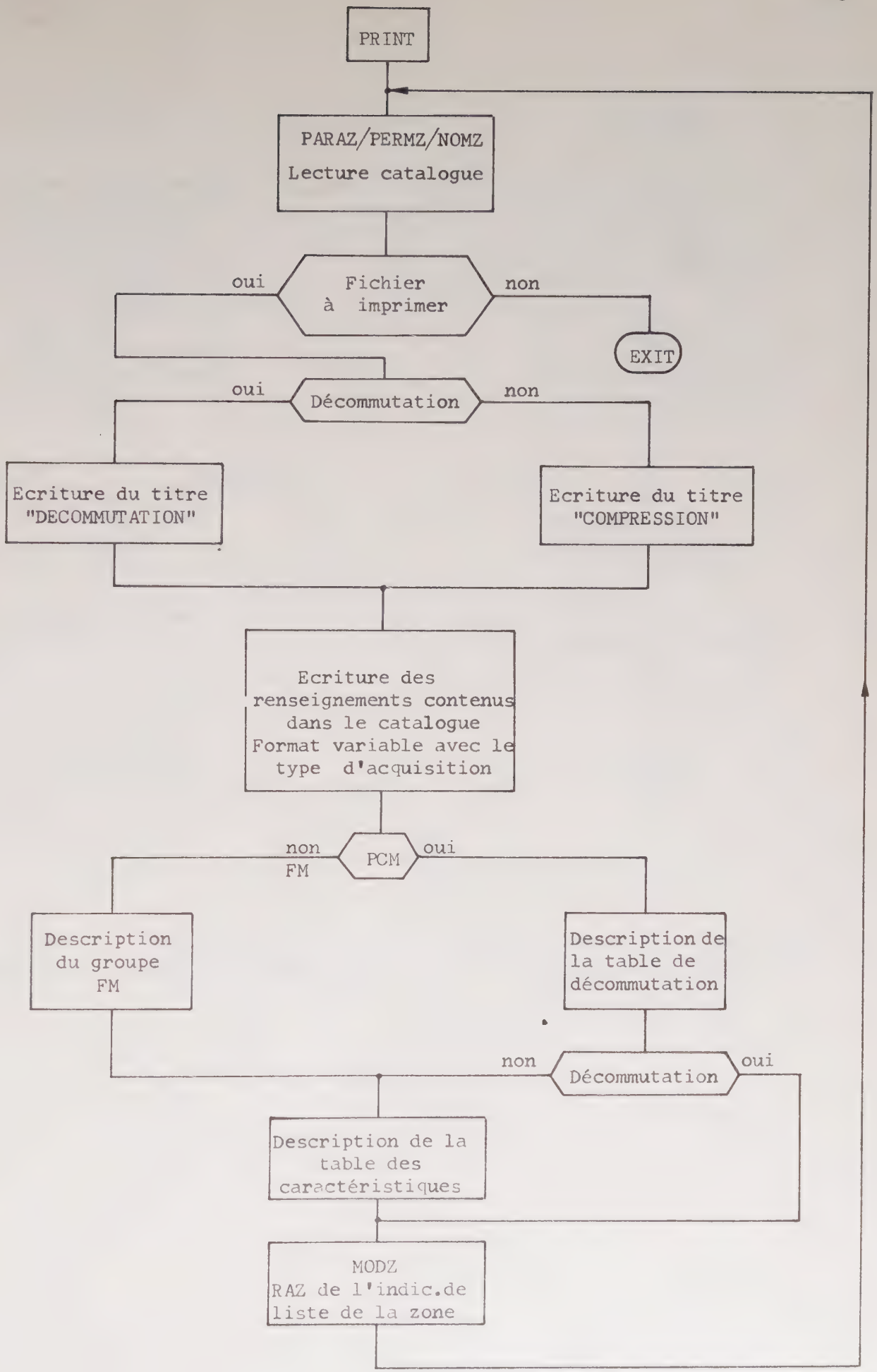
ANNEXE G

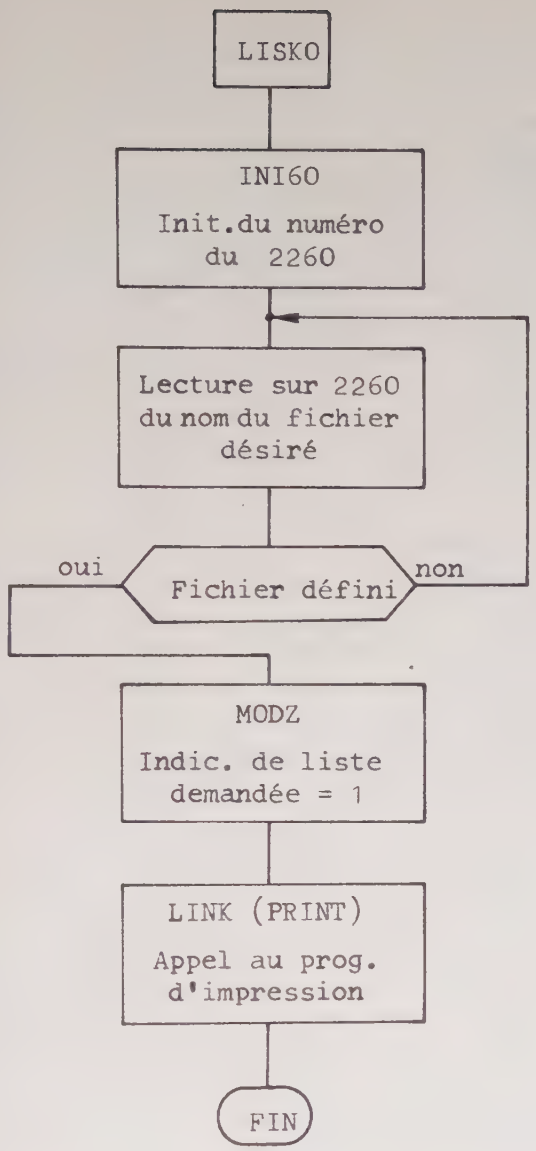
PREPARATION DE LA COMPRESSION

1-PROGRAMMES

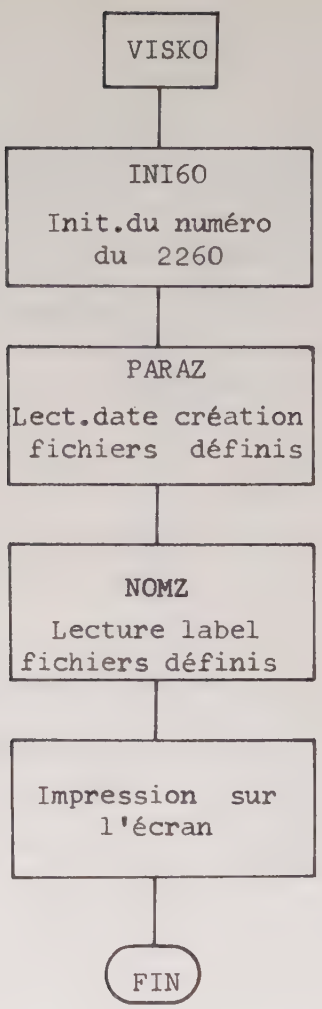



A
RANGE
Ouverture de la zone de préparation sur disque
oui
Décomm. PCM
non
MCOMM
Message
LINK (PREK1)
Enchaînement
PREK1
oui
Modif. d'une zone
non
(création)
MKARA
Modification de la table des caractéristiques et rangement sur disque
DCBRX
Dialogue, construction et rangement sur disque de la table de décommutation
non
Décomm. PCM
oui
KARAX
Dialogue, construction et rangement sur disque de la table de caractéristiques
Message
"FICHIER FERME"
Mise en file d'attente de PRINT

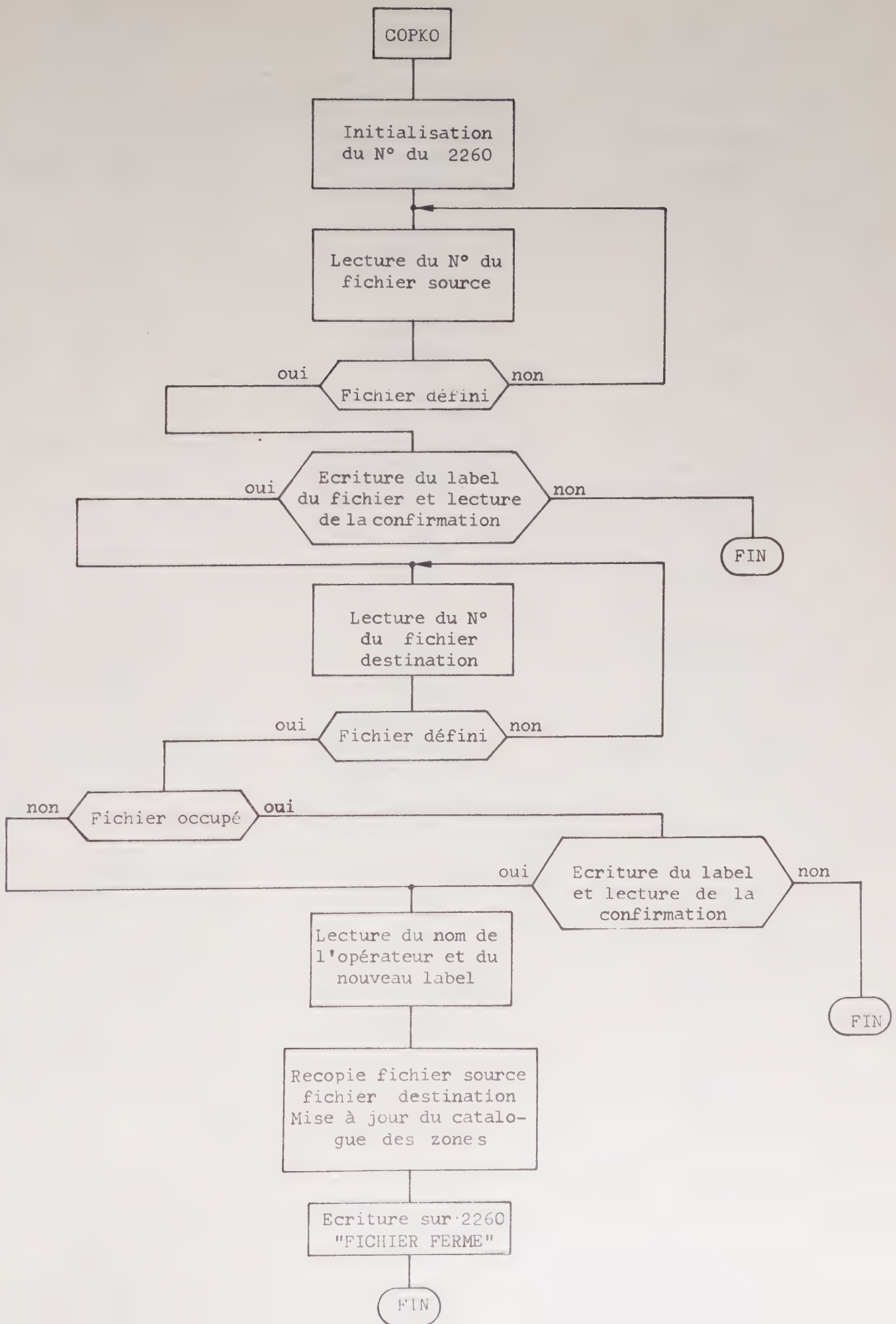

PRINT
PARAZ/PERMZ/NOMZ
Lecture catalogue
oui
Fichier
à imprimer
non
EXIT
oui
Décommutation
non
Ecriture du titre
"DECOMMUTATION"
Ecriture du titre
"COMPRESSION"
Ecriture des
renseignements contenus
dans le catalogue
Format variable avec le
type d'acquisition
non
FM
PCM
oui
Description
du groupe
FM
Description de
la table de
décommutation
non
Décommutation
oui
Description de la
table des
caractéristiques
MODZ
RAZ de l'indic.de
liste de la zone

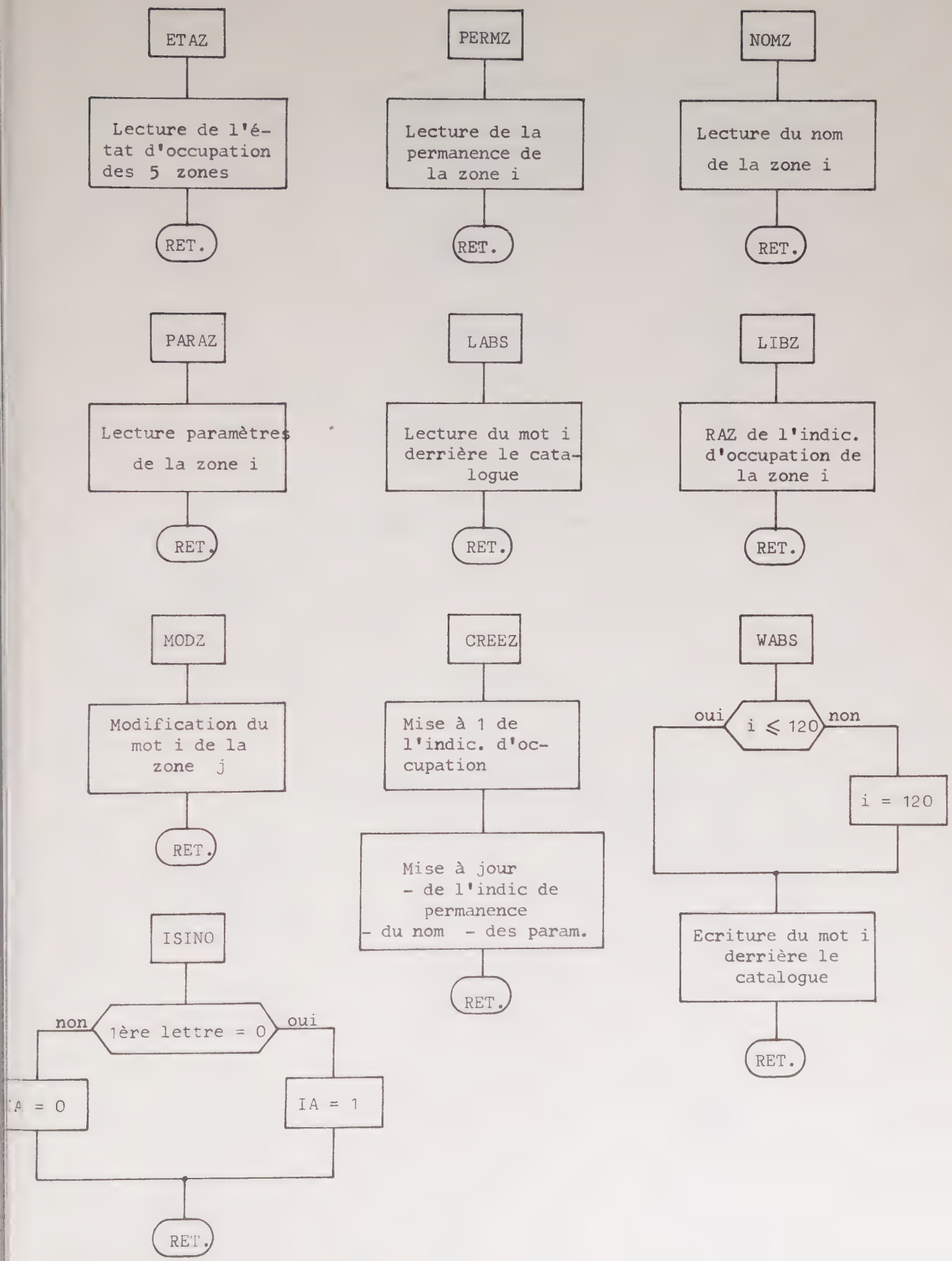


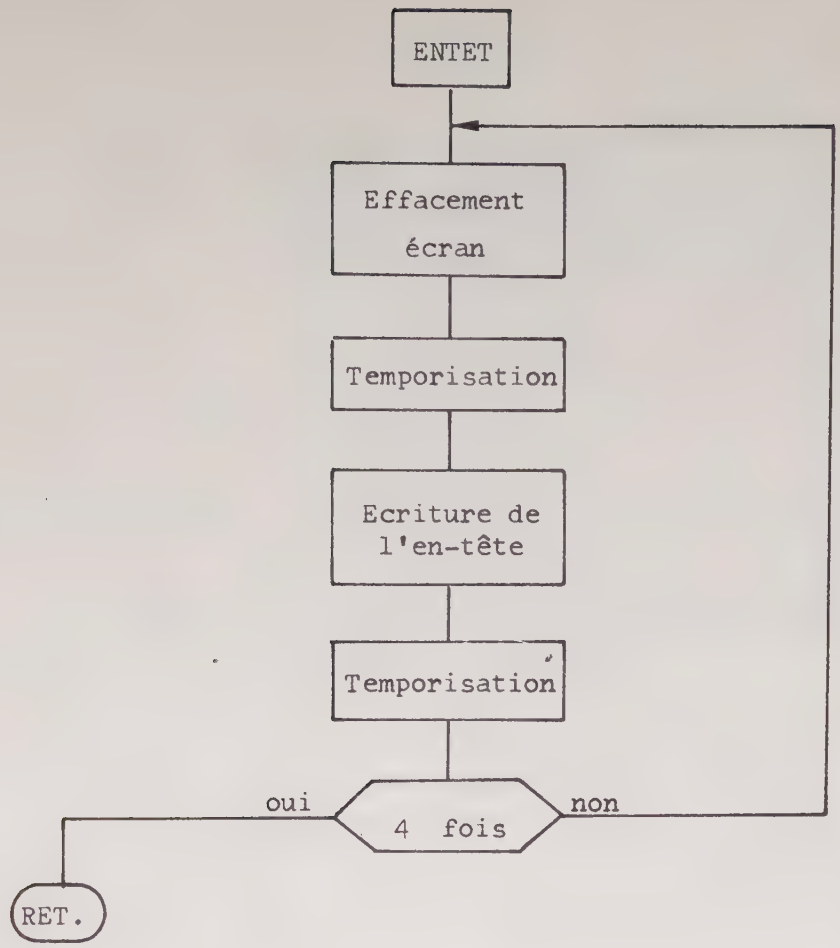
CHARGE-MEMOIRE D'EDITION DE ZONE

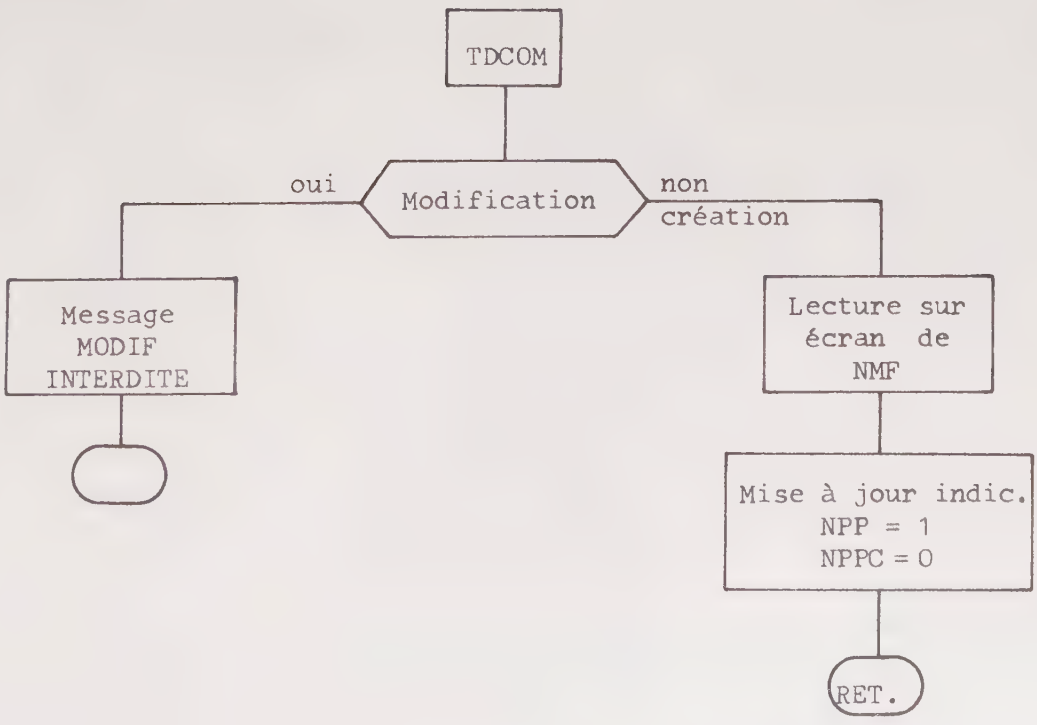


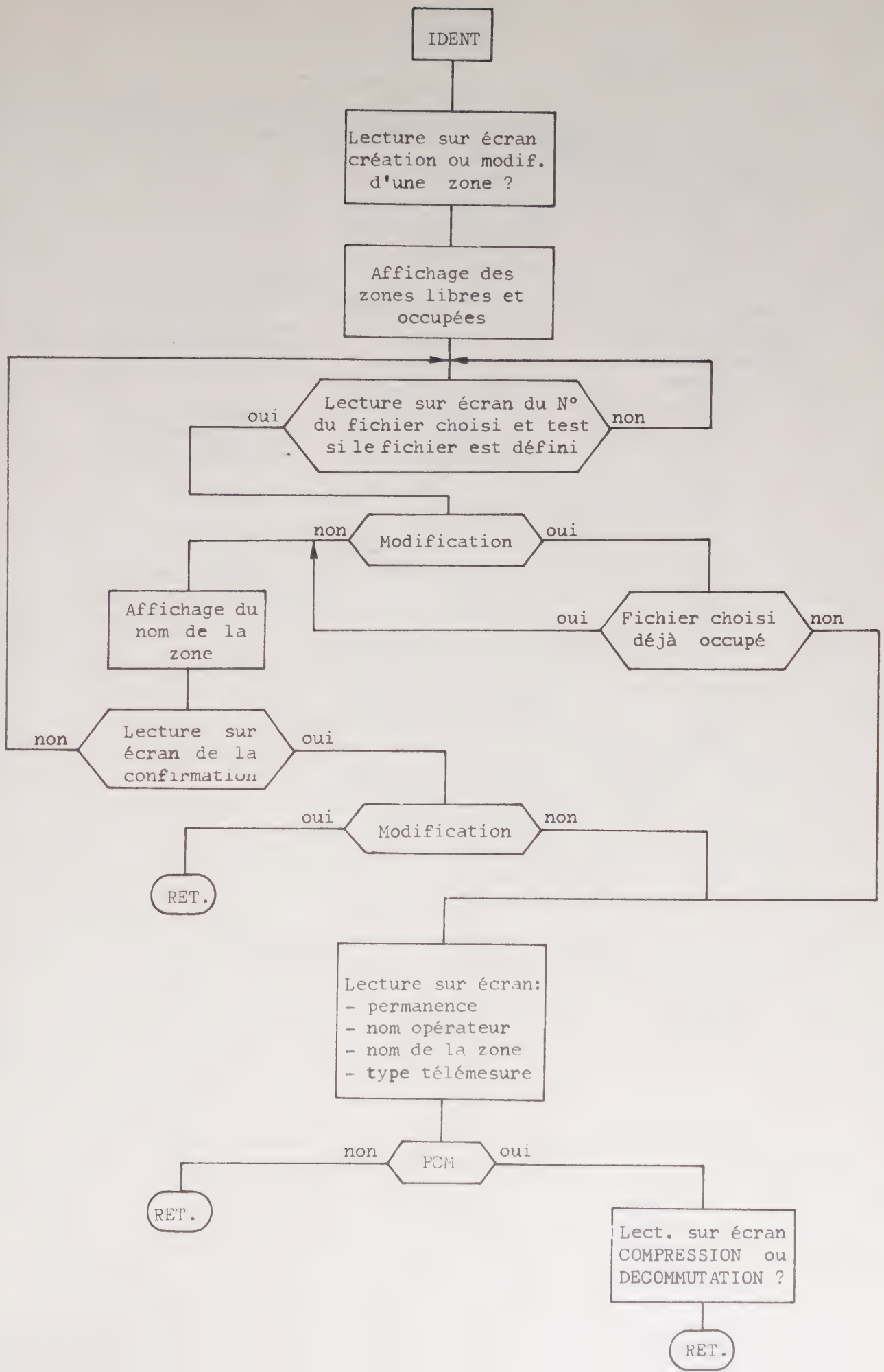
CHARGE-MEMOIRE DE VISUALISATION DE L'ETAT DES ZONES

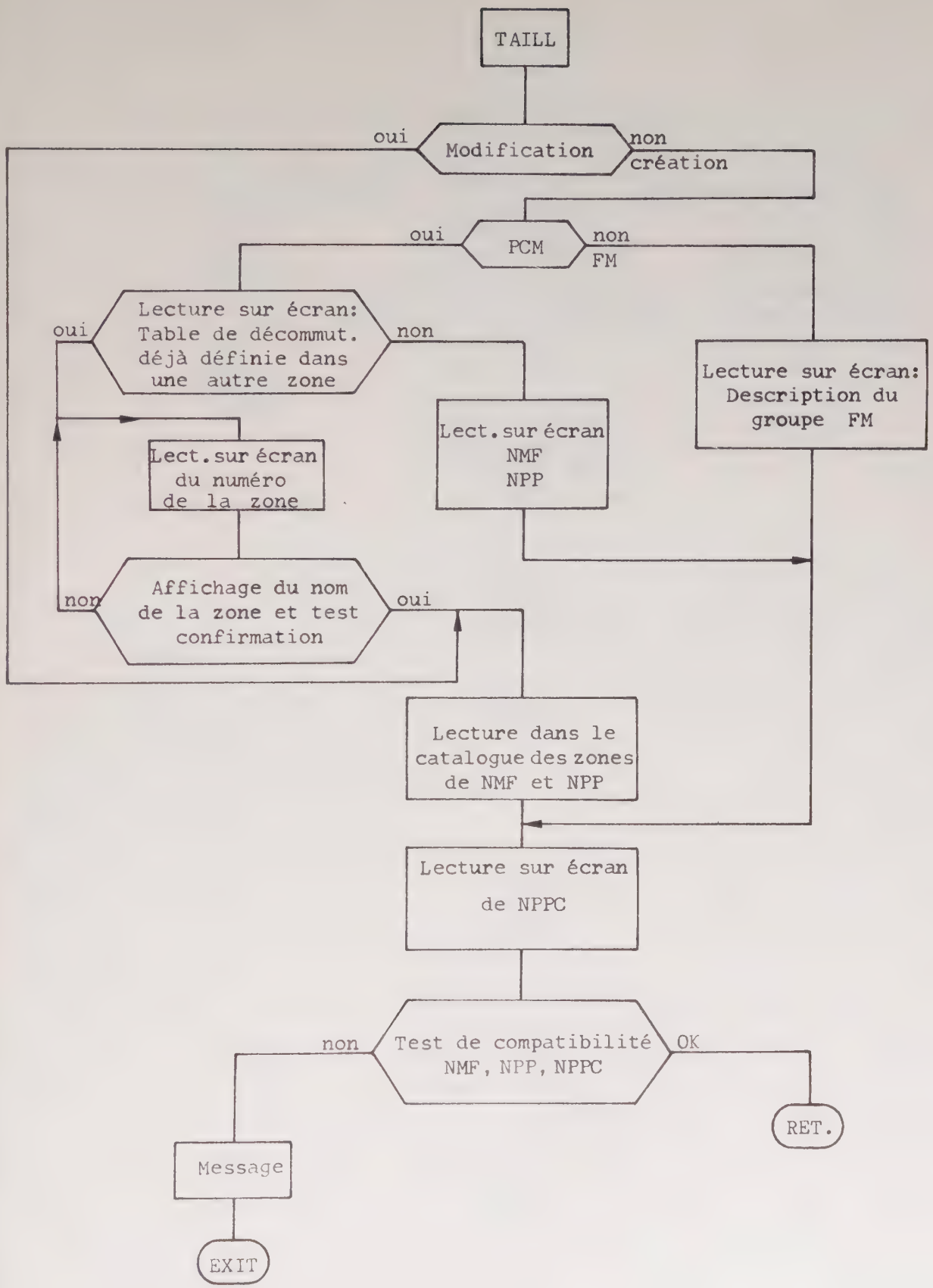

COPKO
Initialisation du N° du 2260
Lecture du N° du fichier source
oui
Fichier défini
non
Ecriture du label du fichier et lecture de la confirmation
oui
non
FIN
Lecture du N° du fichier destination
oui
Fichier défini
non
non
Fichier occupé
oui
oui
Ecriture du label et lecture de la confirmation
non
Lecture du nom de l'opérateur et du nouveau label
FIN
Recopie fichier source fichier destination Mise à jour du catalogue des zones
Ecriture sur 2260 "FICHIER FERME"
FIN

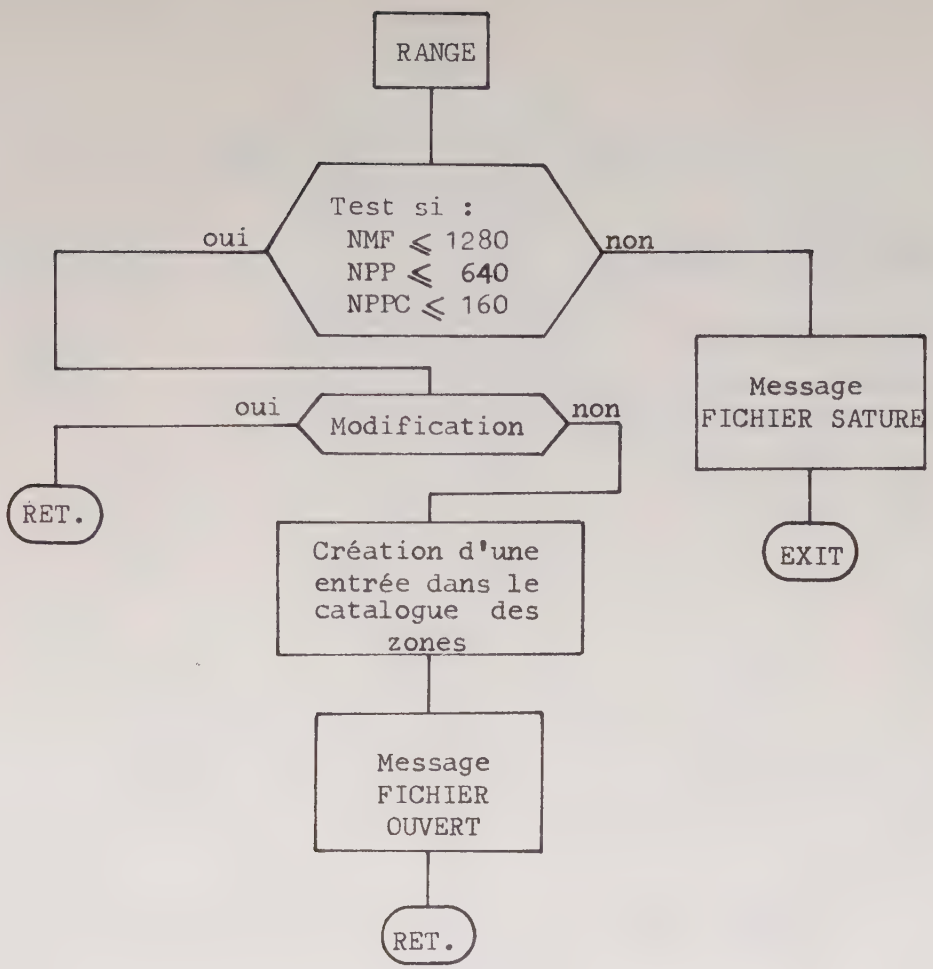

ETAZ
Lecture de l'état d'occupation des 5 zones
RET.
PERMZ
Lecture de la permanence de la zone i
RET.
NOMZ
Lecture du nom de la zone i
RET.
PARAZ
Lecture paramètres de la zone i
RET.
LABS
Lecture du mot i derrière le catalogue
RET.
LIBZ
RAZ de l'indic. d'occupation de la zone i
RET.
MODZ
Modification du mot i de la zone j
RET.
CREEZ
Mise à 1 de l'indic. d'occupation
Mise à jour
- de l'indic de permanence
- du nom - des param.
RET.
WABS
oui
i ⩽ 120
non
i = 120
Ecriture du mot i derrière le catalogue
RET.
ISINO
non
1ère lettre = 0
oui
A = 0
IA = 1
RET.

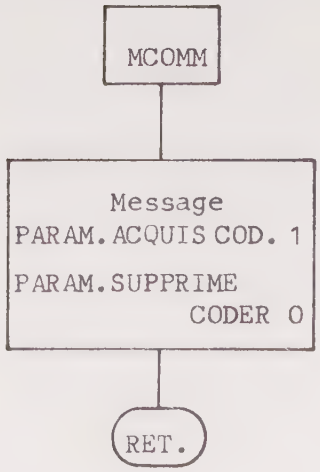

ENTET
Effacement écran
Temporisation
Ecriture de l'en-tête
Temporisation
oui
4 fois
non
RET.

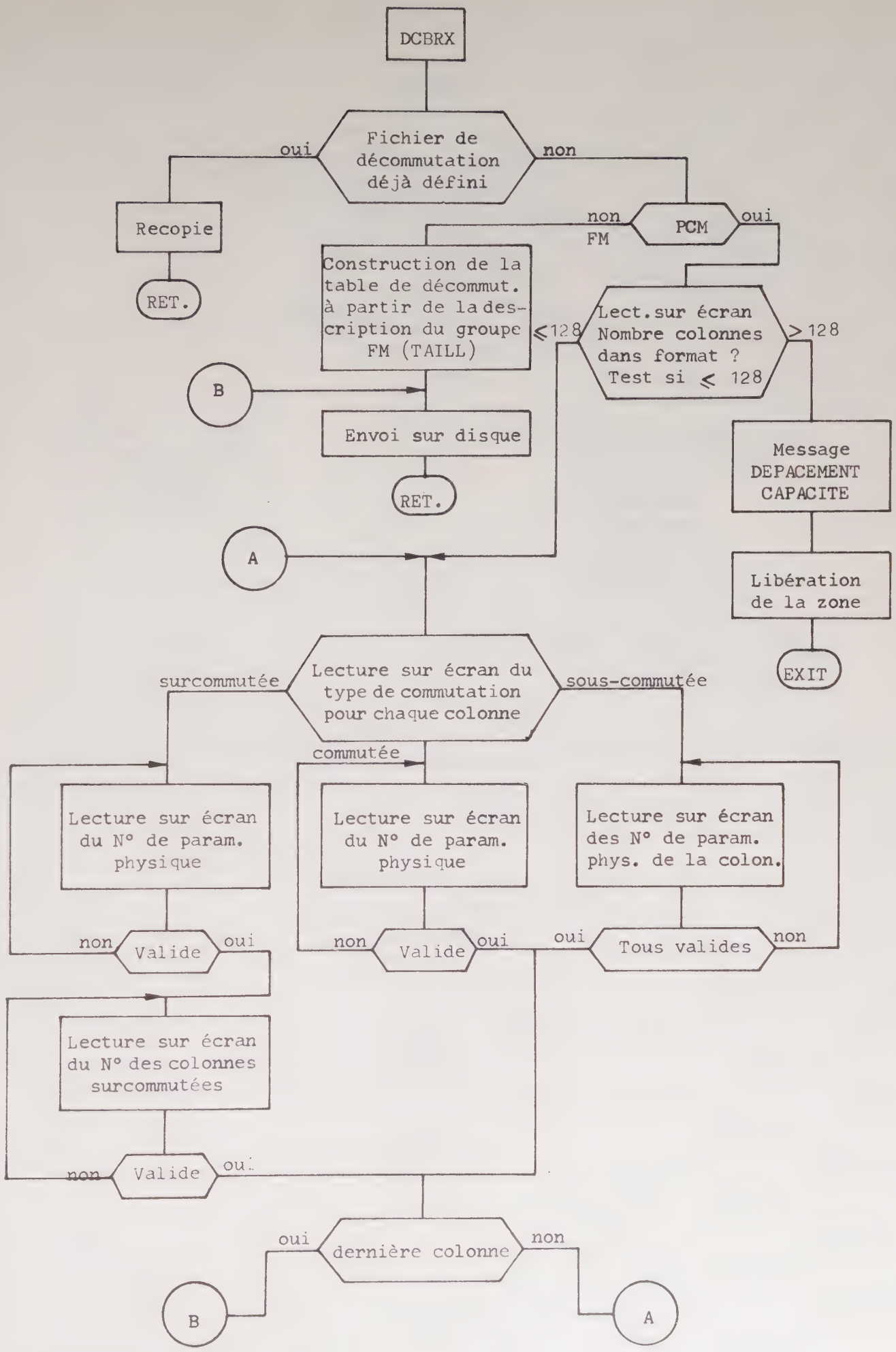

TDCOM
oui
Modification
non
création
Message MODIF INTERDITE
Lecture sur écran de NMF
Mise à jour indic.
NPP = 1
NPPC = 0
RET.

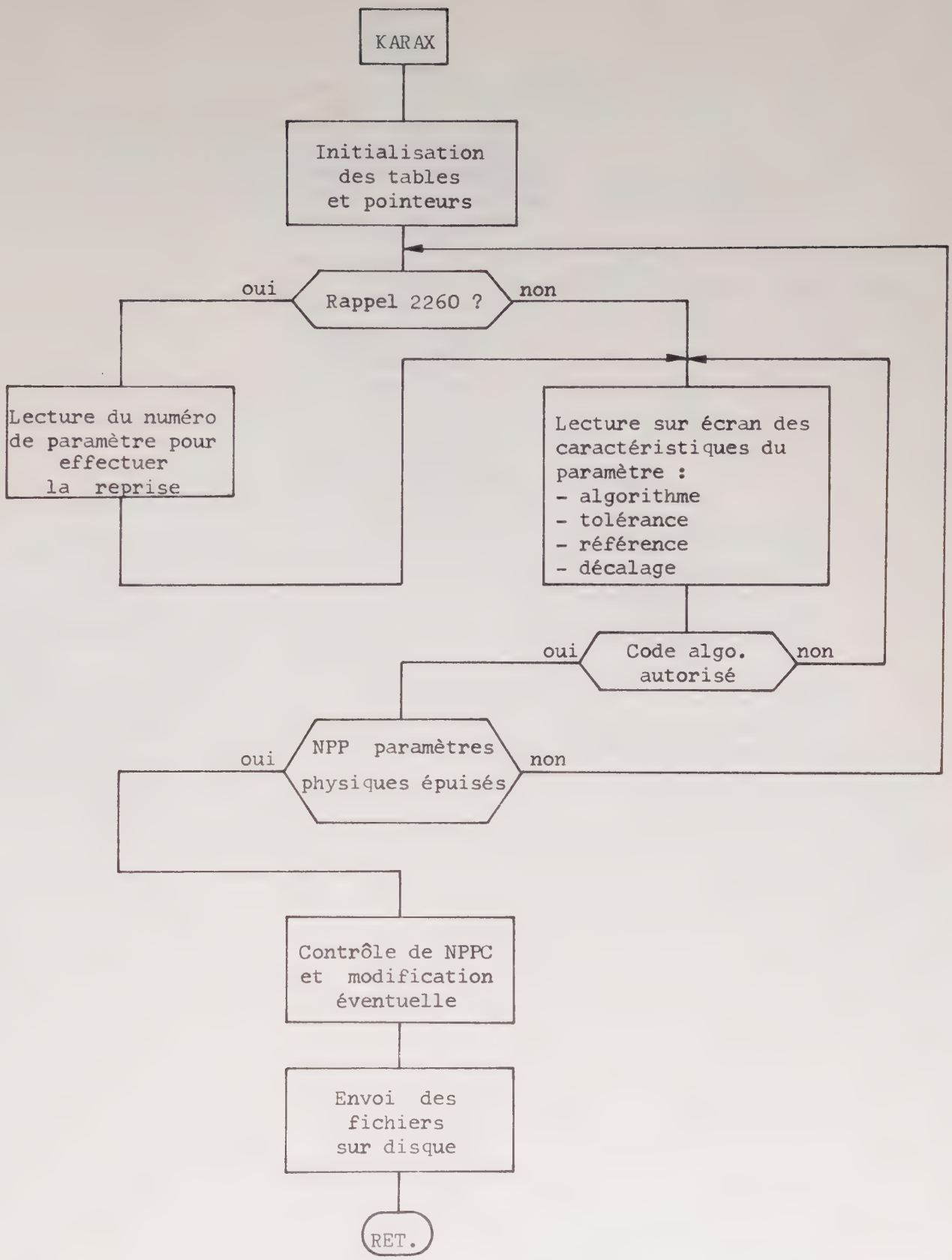

IDENT
Lecture sur écran création ou modif. d'une zone ?
Affichage des zones libres et occupées
Lecture sur écran du N° du fichier choisi et test si le fichier est défini
oui
non
non
Modification
oui
Affichage du nom de la zone
oui
Fichier choisi déjà occupé
non
non
Lecture sur écran de la confirmation
oui
oui
Modification
non
RET.
Lecture sur écran:
- permanence
- nom opérateur
- nom de la zone
- type télémesure
non
PCM
oui
RET.
Lect. sur écran COMPRESSION ou DECOMMUTATION ?
RET.

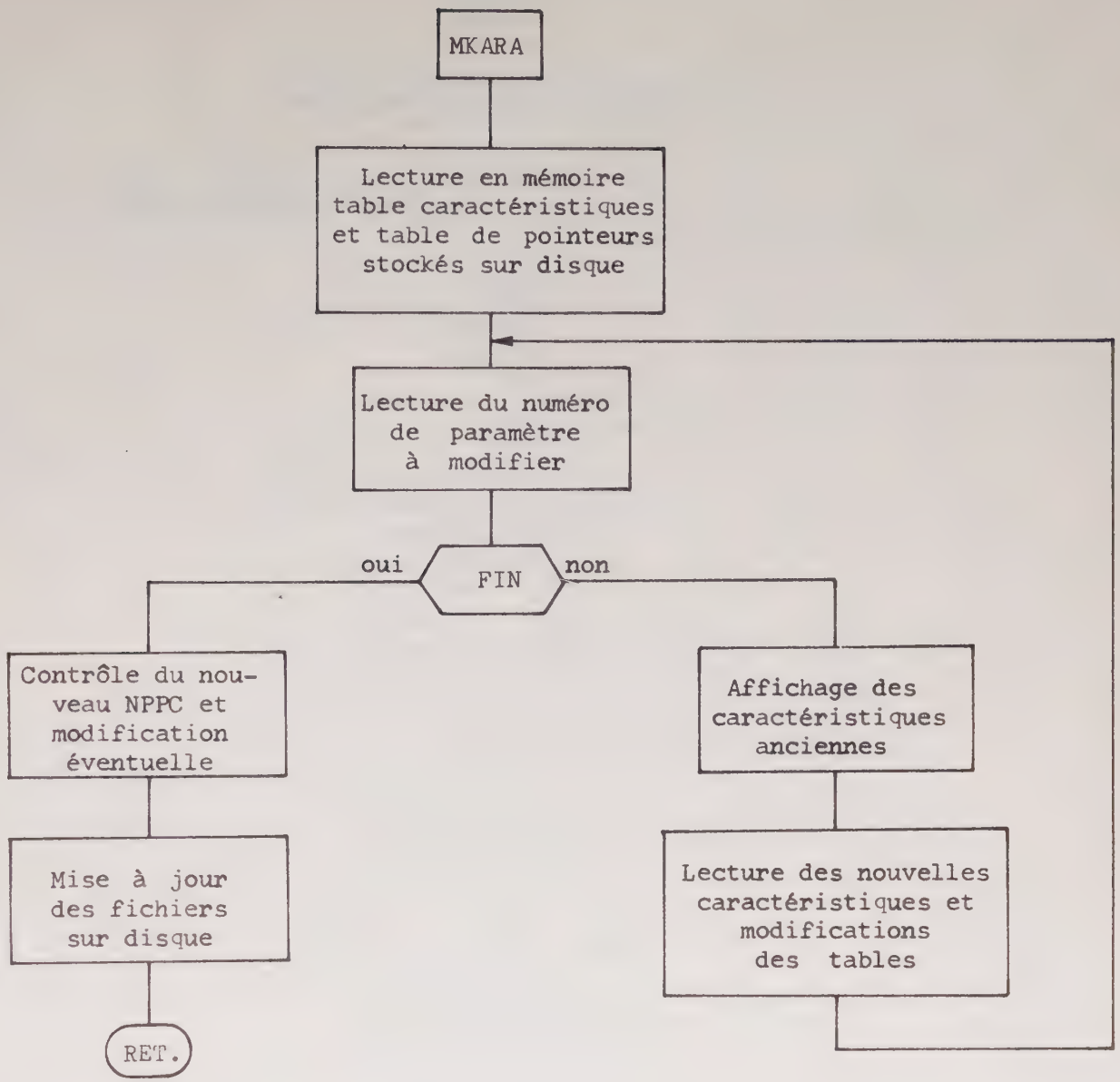

TAILL
oui
Modification
non
création
oui
PCM
non
FM
Lecture sur écran: Table de décommut. déjà définie dans une autre zone
oui
non
Lecture sur écran: Description du groupe FM
Lect. sur écran du numéro de la zone
Lect. sur écran NMF NPP
non
Affichage du nom de la zone et test confirmation
oui
Lecture dans le catalogue des zones de NMF et NPP
Lecture sur écran de NPPC
non
Test de compatibilité NMF, NPP, NPPC
OK
RET.
Message
EXIT


RANGE
Test si :
NMF ⩽ 1280
NPP ⩽ 640
NPPC ⩽ 160
oui
non
Message
FICHIER SATURE
EXIT
oui
Modification
non
RET.
Création d'une
entrée dans le
catalogue des
zones
Message
FICHIER
OUVERT
RET.


MCOMM
Message
PARAM. ACQUIS COD. 1
PARAM. SUPPRIME
CODER 0
RET.


DCBRX
Fichier de décommutation déjà défini
oui
non
Recopie
RET.
non FM
PCM
oui
Construction de la table de décommut. à partir de la description du groupe FM (TAILL)
B
Envoi sur disque
RET.
Lect. sur écran Nombre colonnes dans format ? Test si ⩽ 128
⩽ 128
> 128
Message DEPACEMENT CAPACITE
Libération de la zone
EXIT
A
Lecture sur écran du type de commutation pour chaque colonne
surcommutée
commutée
sous-commutée
Lecture sur écran du N° de param. physique
Lecture sur écran du N° de param. physique
Lecture sur écran des N° de param. phys. de la colon.
non
Valide
oui
non
Valide
oui
oui
Tous valides
non
Lecture sur écran du N° des colonnes surcommutées
non
Valide
oui
oui
dernière colonne
non
B
A

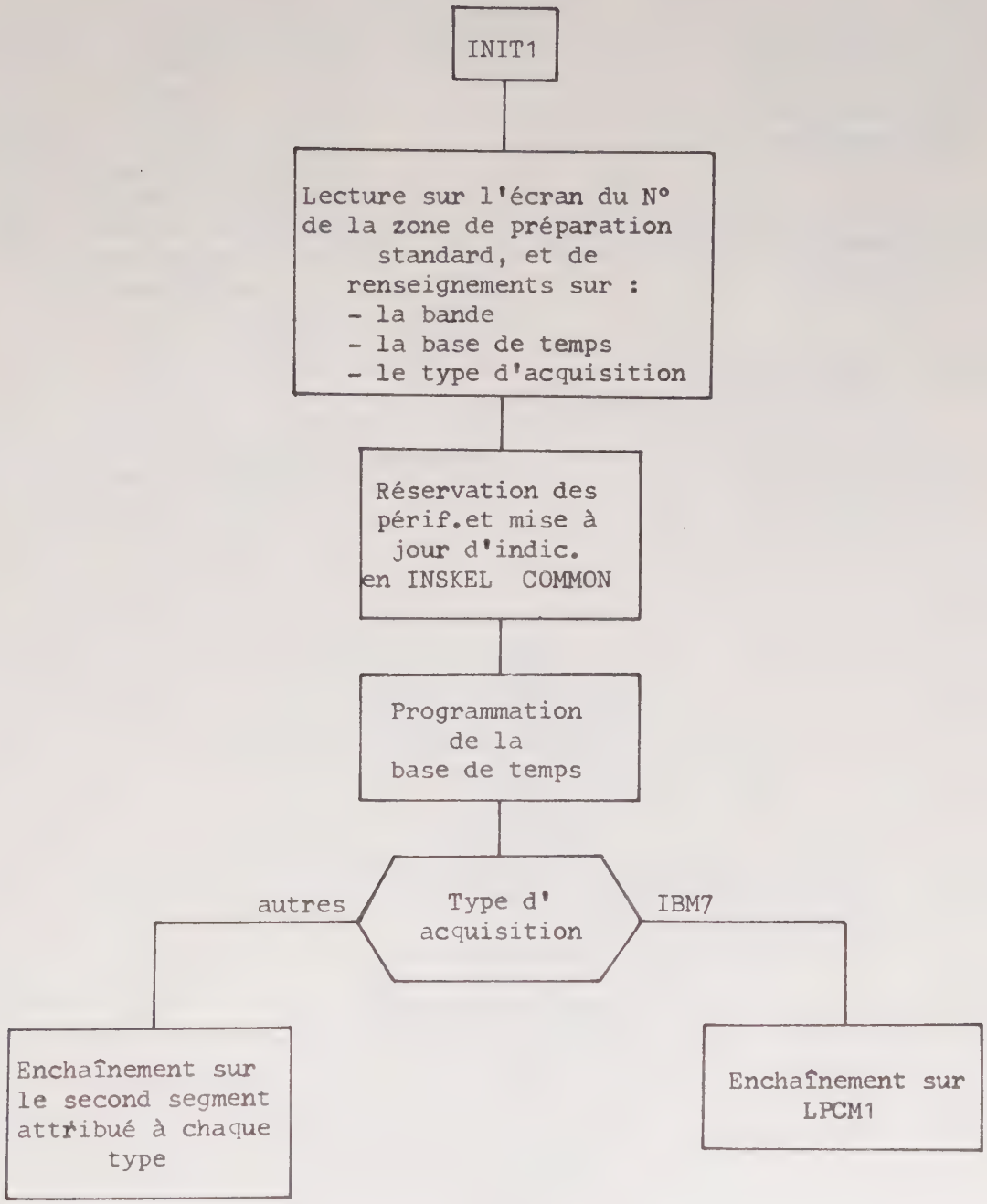

KARAX
Initialisation des tables et pointeurs
oui
Rappel 2260 ?
non
Lecture du numéro de paramètre pour effectuer la reprise
Lecture sur écran des caractéristiques du paramètre :
- algorithme
- tolérance
- référence
- décalage
oui
Code algo. autorisé
non
oui
NPP paramètres physiques épuisés
non
Contrôle de NPPC et modification éventuelle
Envoi des fichiers sur disque
RET.


MKARA
Lecture en mémoire table caractéristiques et table de pointeurs stockés sur disque
Lecture du numéro de paramètre à modifier
oui
FIN
non
Contrôle du nouveau NPPC et modification éventuelle
Mise à jour des fichiers sur disque
RET.
Affichage des caractéristiques anciennes
Lecture des nouvelles caractéristiques et modifications des tables

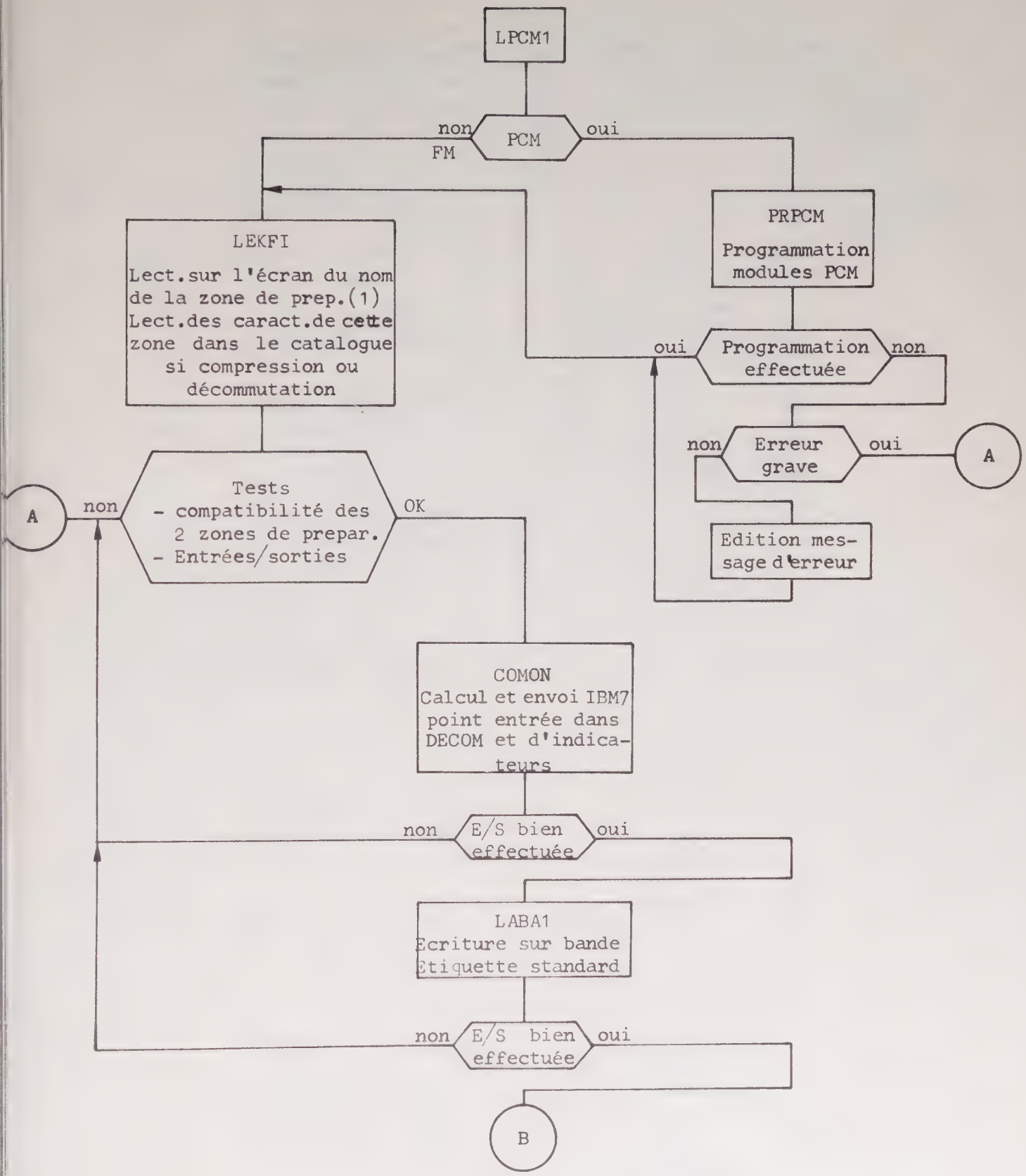
ANNEXE H

LOGIQUE DE L'INITIALISATION

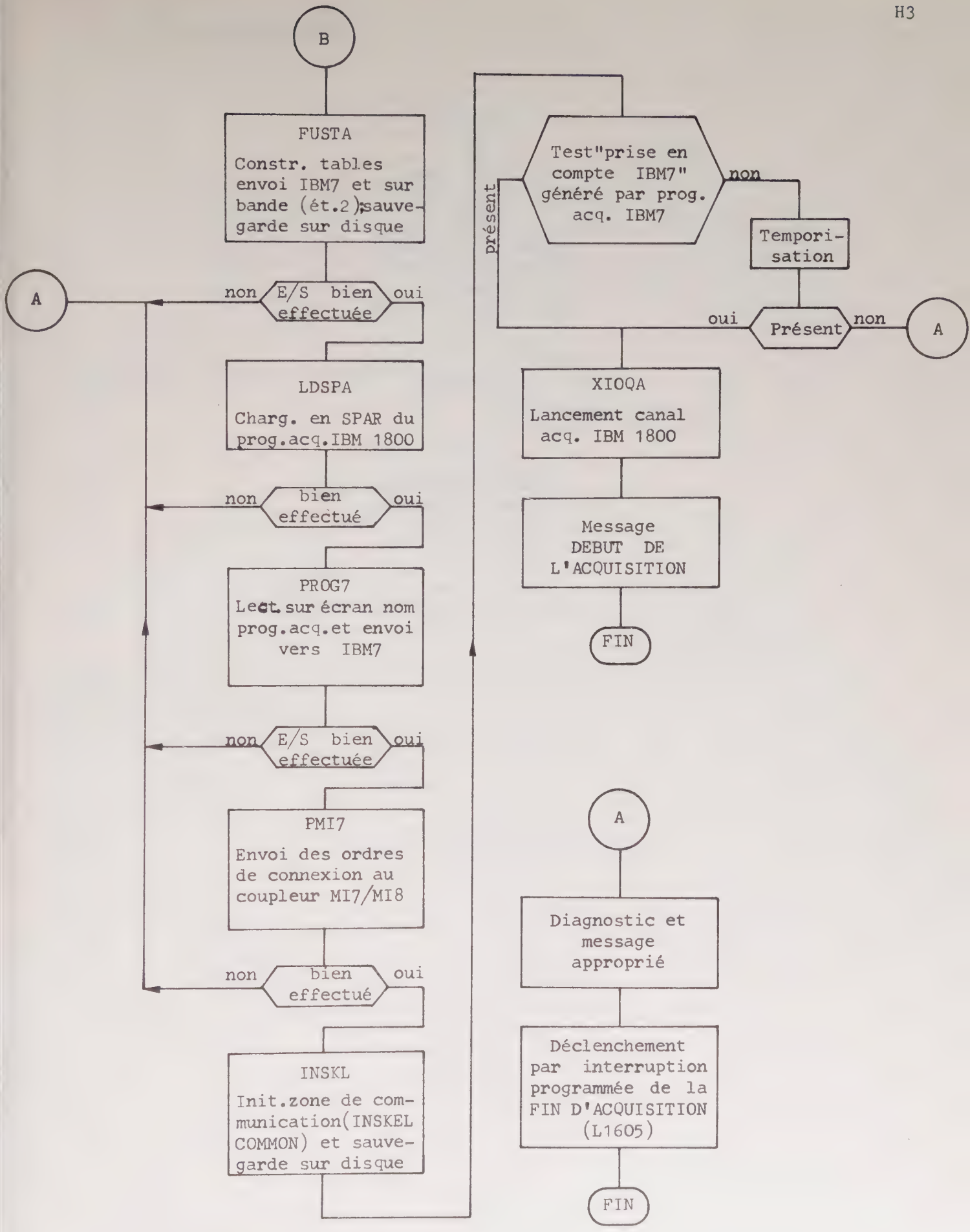
1 - PREMIER SEGMENT (GENERAL)



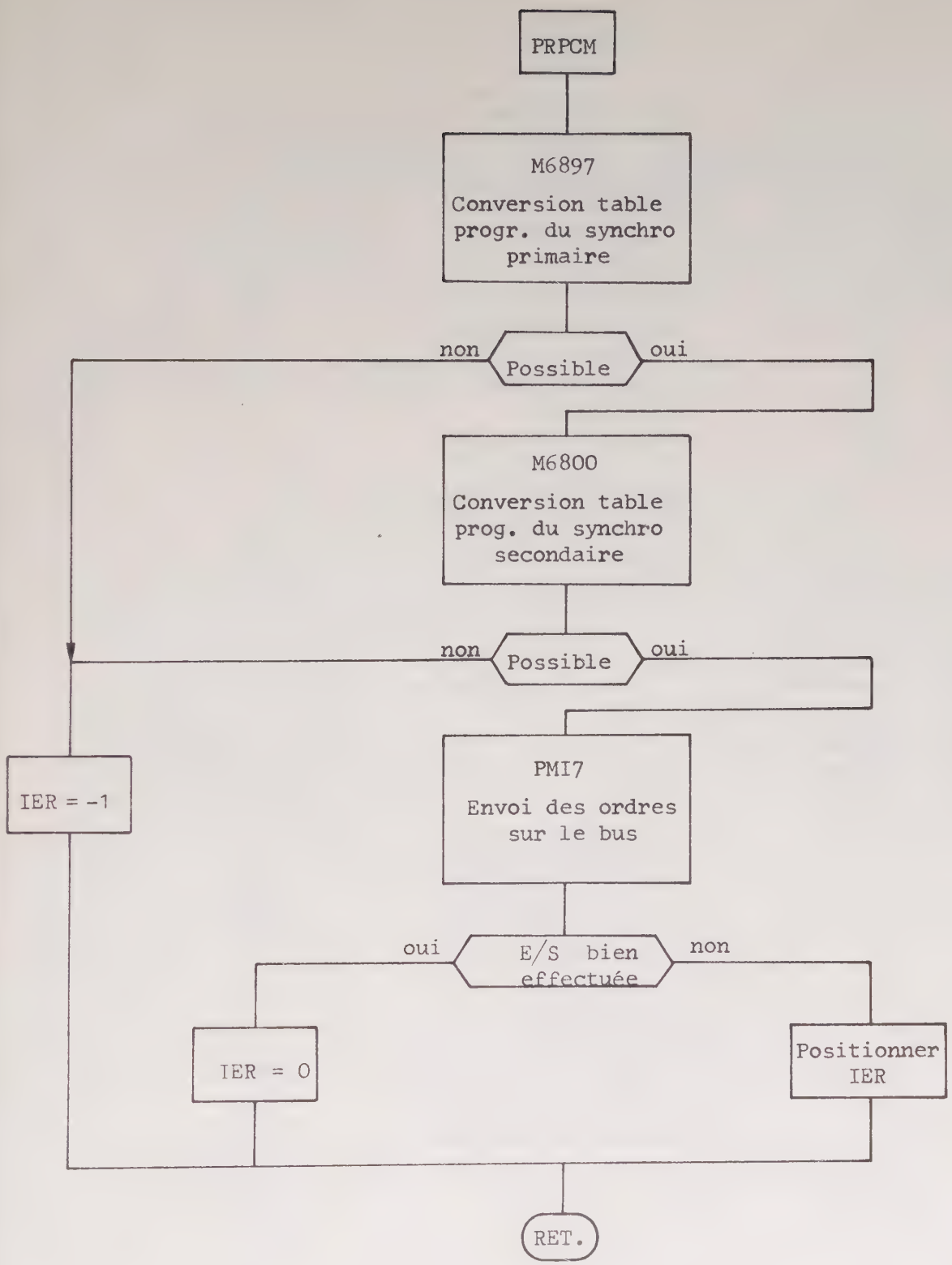
2 - SEGMENT 2 (PARTICULIER A L'ACQUISITION SUR SYSTEME 7)

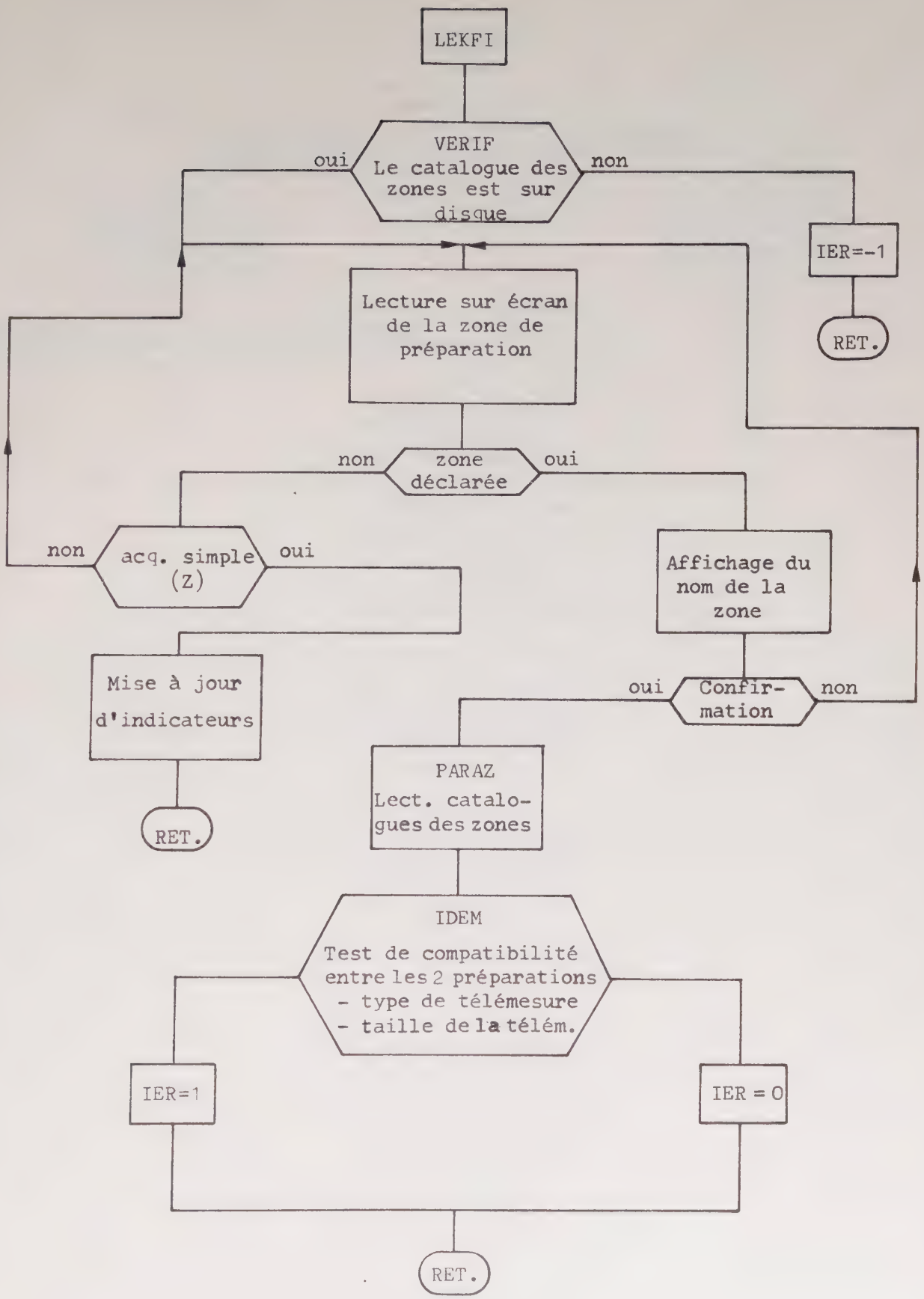


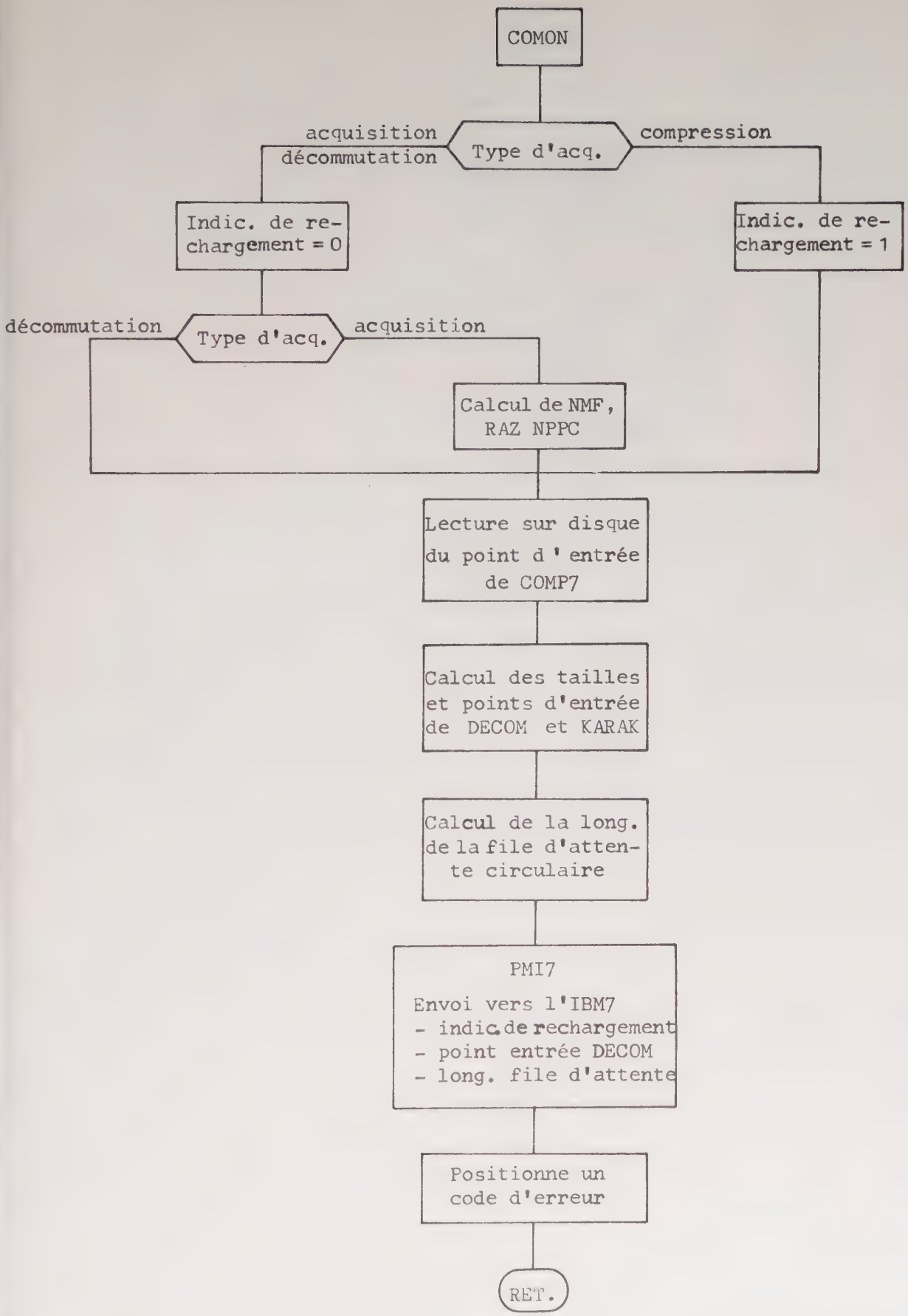
(1) La zone Z désigne l'acquisition systématique (sans compression)

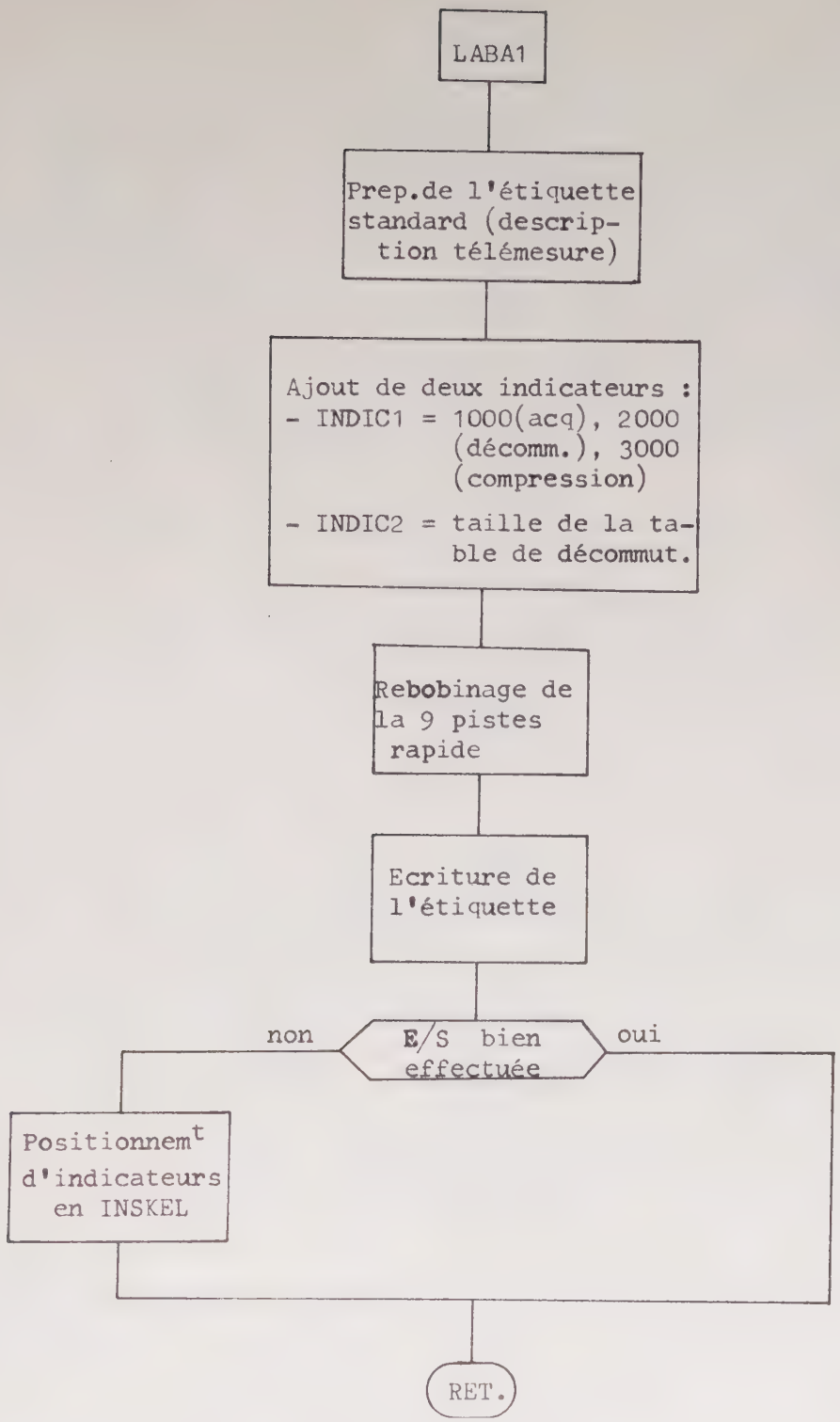

B
FUSTA
Constr. tables envoi IBM7 et sur bande (ét.2);sauvegarde sur disque
A
non
E/S bien effectuée
oui
LDSPA
Charg. en SPAR du prog.acq.IBM 1800
non
bien effectué
oui
PROG7
Lect. sur écran nom prog.acq.et envoi vers IBM7
non
E/S bien effectuée
oui
PMI7
Envoi des ordres de connexion au coupleur MI7/MI8
non
bien effectué
oui
INSKL
Init.zone de communication(INSKEL COMMON) et sauvegarde sur disque
Test"prise en compte IBM7" généré par prog. acq. IBM7
non
présent
Temporisation
oui
Présent
non
A
XIOQA
Lancement canal acq. IBM 1800
Message DEBUT DE L'ACQUISITION
FIN
A
Diagnostic et message approprié
Déclenchement par interruption programmée de la FIN D'ACQUISITION (L1605)
FIN

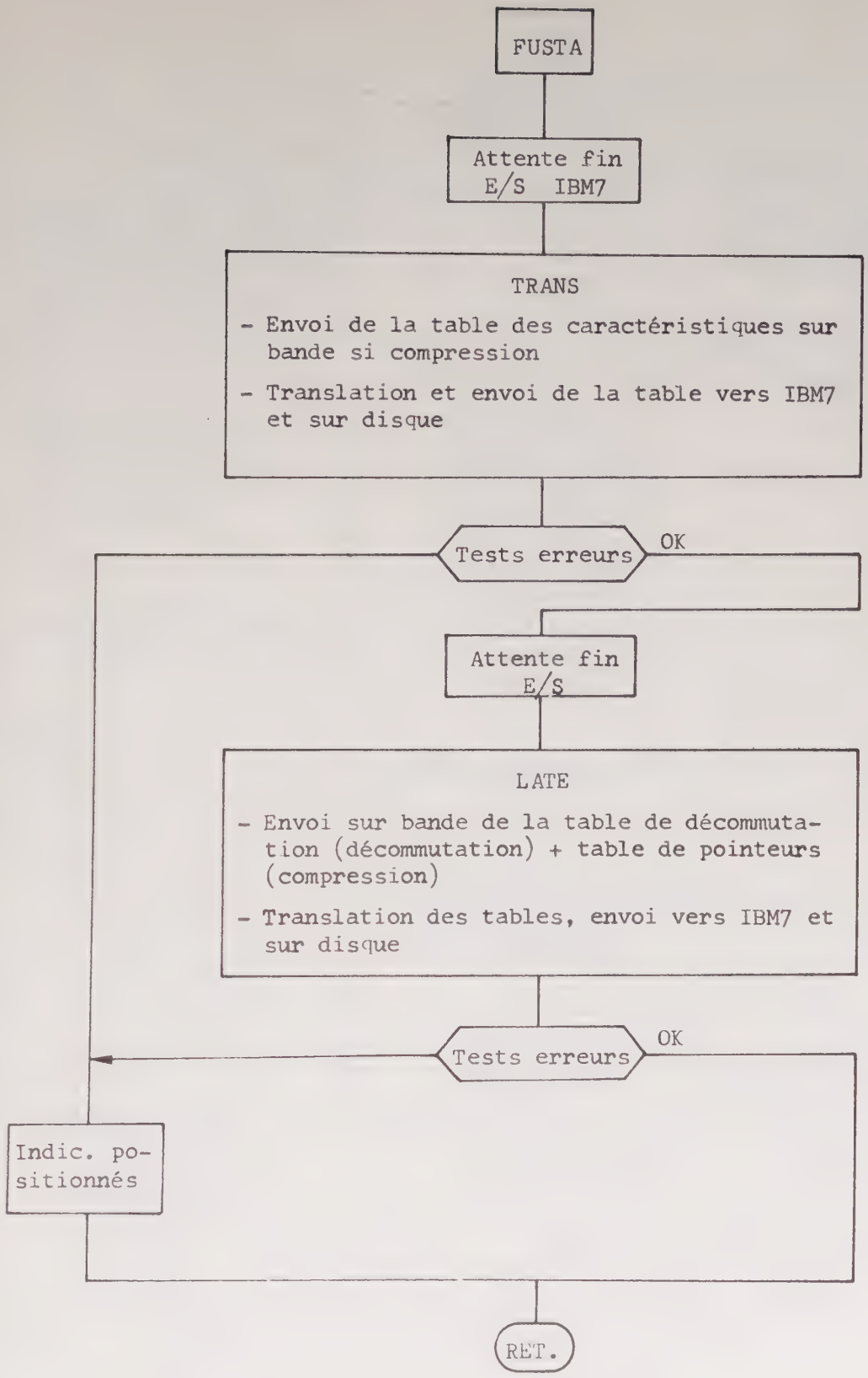
3 - SOUS-PROGRAMMES

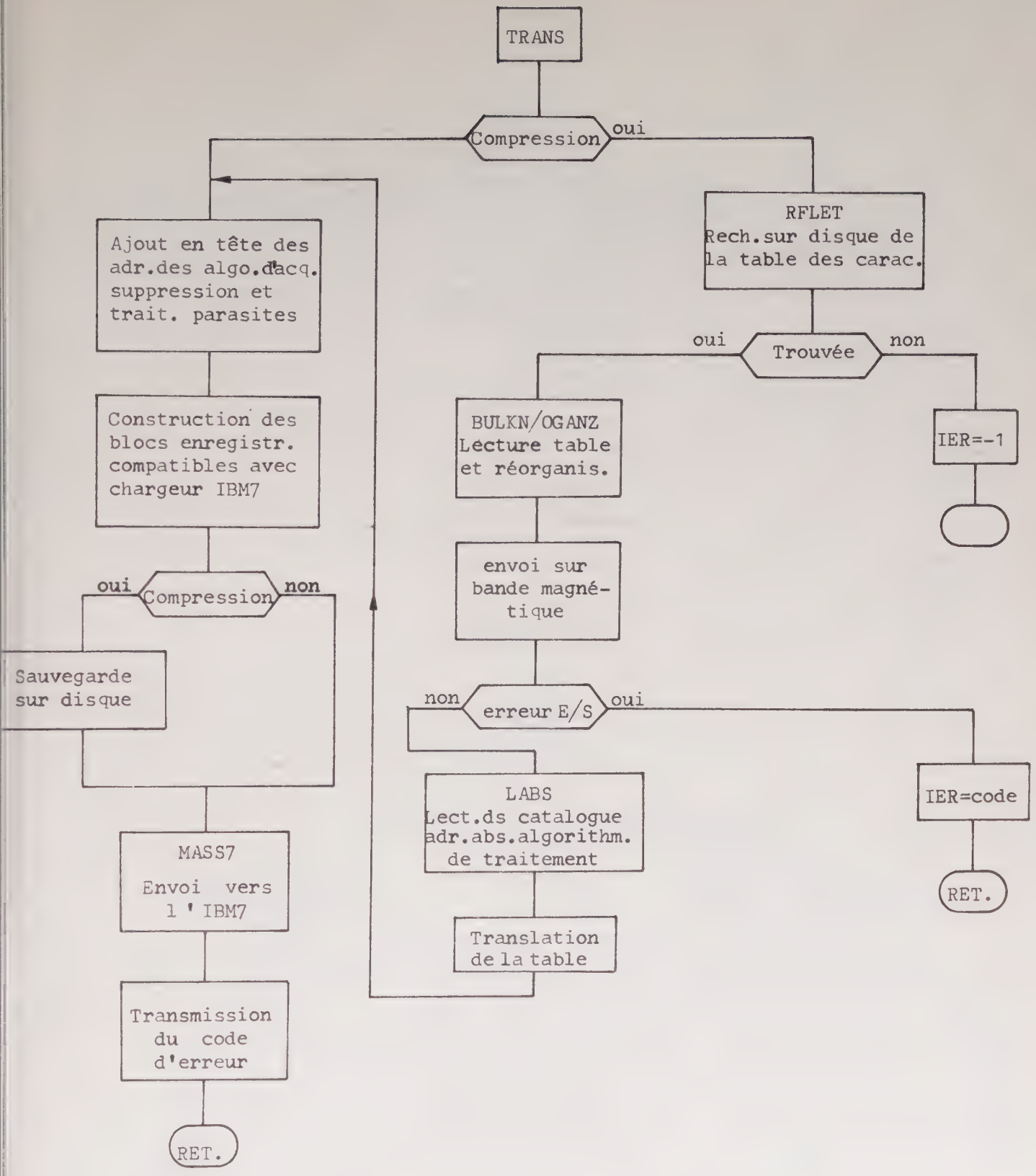


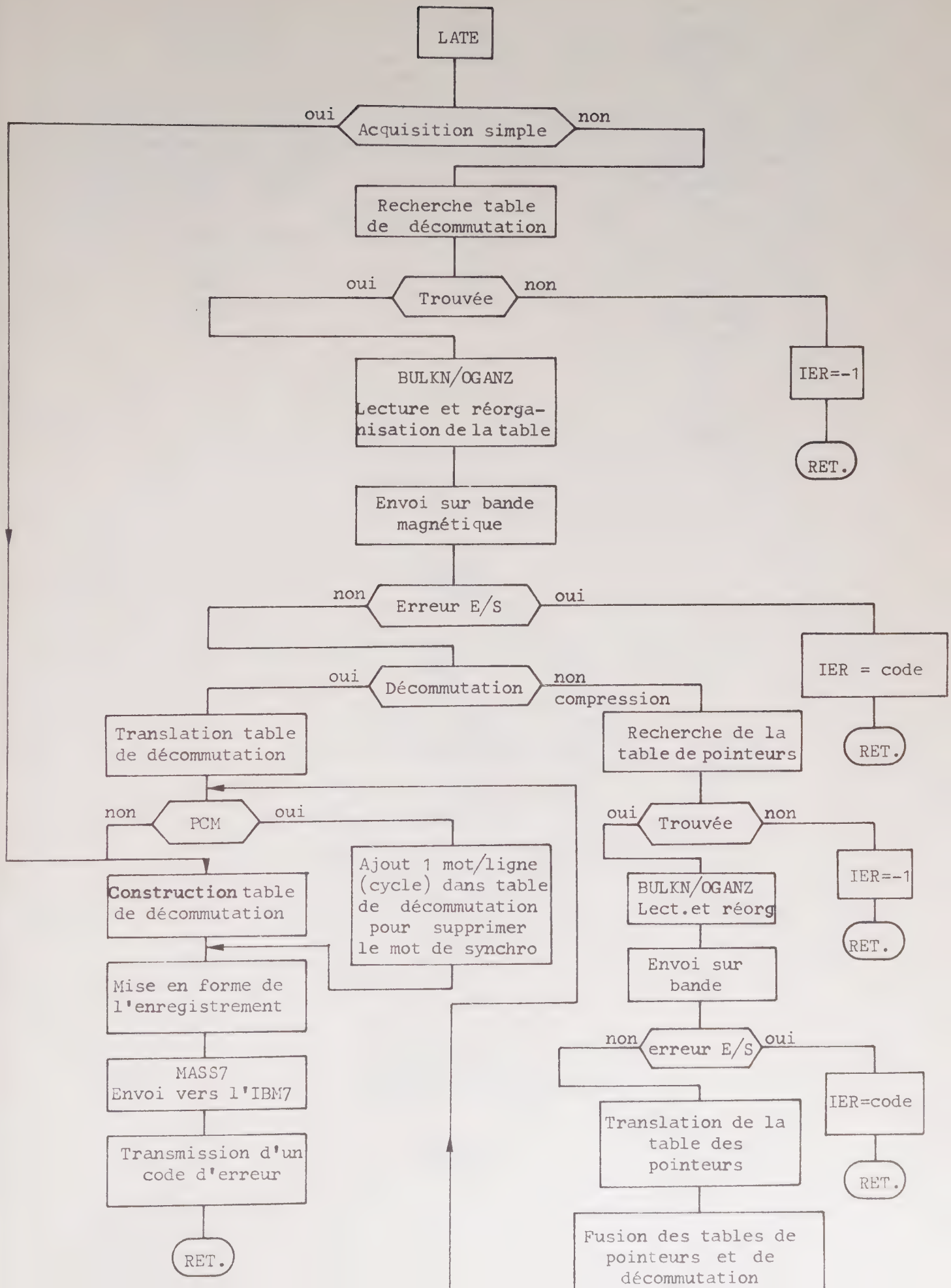

LEKFI
VERIF
Le catalogue des zones est sur disque
oui
non
IER=-1
RET.
Lecture sur écran de la zone de préparation
non
zone déclarée
oui
non
acq. simple (Z)
oui
Affichage du nom de la zone
Mise à jour d'indicateurs
RET.
oui
Confir-mation
non
PARAZ
Lect. catalo-gues des zones
IDEM
Test de compatibilité entre les 2 préparations
- type de télémesure
- taille de la télém.
IER=1
IER = 0
RET.

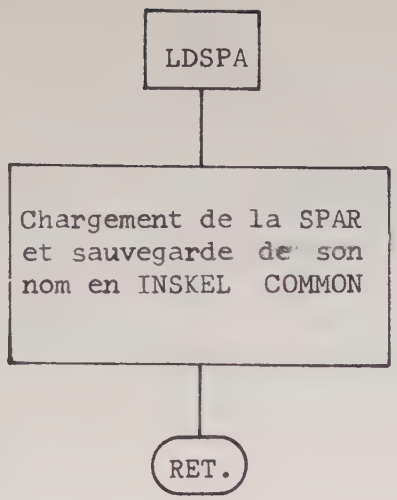

COMON
acquisition
décommutation
Type d'acq.
compression
Indic. de re-
chargement = 0
Indic. de re-
chargement = 1
décommutation
Type d'acq.
acquisition
Calcul de NMF,
RAZ NPPC
Lecture sur disque
du point d ' entrée
de COMP7
Calcul des tailles
et points d'entrée
de DECOM et KARAK
Calcul de la long.
de la file d'atten-
te circulaire
PMI7
Envoi vers l'IBM7
- indic. de rechargement
- point entrée DECOM
- long. file d'attente
Positionne un
code d'erreur
RET.

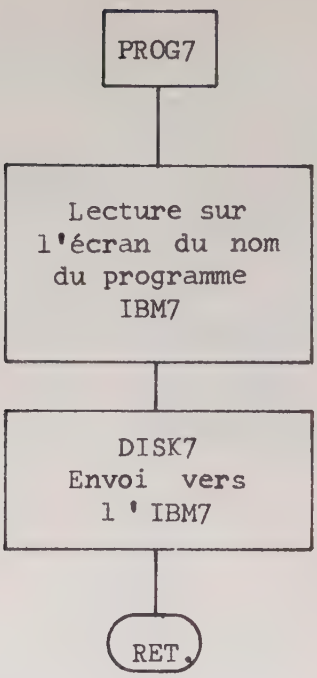

LABA1
Prep.de l'étiquette standard (description télémesure)
Ajout de deux indicateurs :
- INDIC1 = 1000(acq), 2000 (décomm.), 3000 (compression)
- INDIC2 = taille de la table de décommut.
Rebobinage de la 9 pistes rapide
Ecriture de l'étiquette
non
E/S bien effectuée
oui
Positionnemt d'indicateurs en INSKEL
RET.

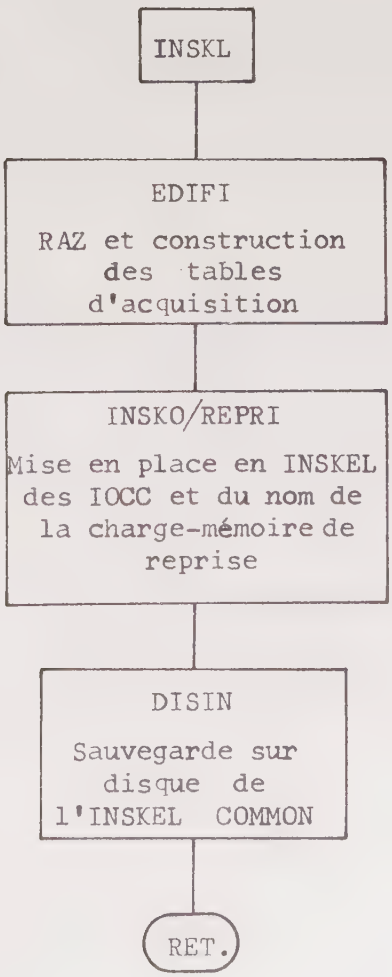

FUSTA
Attente fin E/S IBM7
TRANS
- Envoi de la table des caractéristiques sur bande si compression
- Translation et envoi de la table vers IBM7 et sur disque
Tests erreurs
OK
Attente fin E/S
LATE
- Envoi sur bande de la table de décommutation (décommutation) + table de pointeurs (compression)
- Translation des tables, envoi vers IBM7 et sur disque
Tests erreurs
OK
Indic. positionnés
RET.


TRANS
Compression
oui
Ajout en tête des adr.des algo.d'acq. suppression et trait. parasites
Construction des blocs enregistr. compatibles avec chargeur IBM7
oui
Compression
non
Sauvegarde sur disque
MASS7
Envoi vers l'IBM7
Transmission du code d'erreur
RET.
RFLET
Rech.sur disque de la table des carac.
oui
Trouvée
non
BULKN/OGANZ
Lecture table et réorganis.
IER=-1
envoi sur bande magnétique
non
erreur E/S
oui
LABS
Lect.ds catalogue adr.abs.algorithm. de traitement
IER=code
Translation de la table
RET.


LATE
oui
Acquisition simple
non
Recherche table de décommutation
oui
Trouvée
non
BULKN/OGANZ
Lecture et réorganisation de la table
IER=-1
RET.
Envoi sur bande magnétique
non
Erreur E/S
oui
IER = code
RET.
oui
Décommutation
non
compression
Translation table de décommutation
Recherche de la table de pointeurs
non
PCM
oui
oui
Trouvée
non
Ajout 1 mot/ligne (cycle) dans table de décommutation pour supprimer le mot de synchro
Construction table de décommutation
BULKN/OGANZ
Lect.et réorg
IER=-1
RET.
Mise en forme de l'enregistrement
Envoi sur bande
MASS7
Envoi vers l'IBM7
non
erreur E/S
oui
IER=code
RET.
Transmission d'un code d'erreur
Translation de la table des pointeurs
RET.
Fusion des tables de pointeurs et de décommutation


LDSPA
Chargement de la SPAR et sauvegarde de son nom en INSKEL COMMON
RET.


PROG7
Lecture sur l'écran du nom du programme IBM7
DISK7
Envoi vers l'IBM7
RET.


INSKL
EDIFI
RAZ et construction des tables d'acquisition
INSKO/REPRI
Mise en place en INSKEL des IOCC et du nom de la charge-mémoire de reprise
DISIN
Sauvegarde sur disque de l'INSKEL COMMON
RET.

ANNEXE I

STRUCTURE DES TABLES D'ACQUISITION

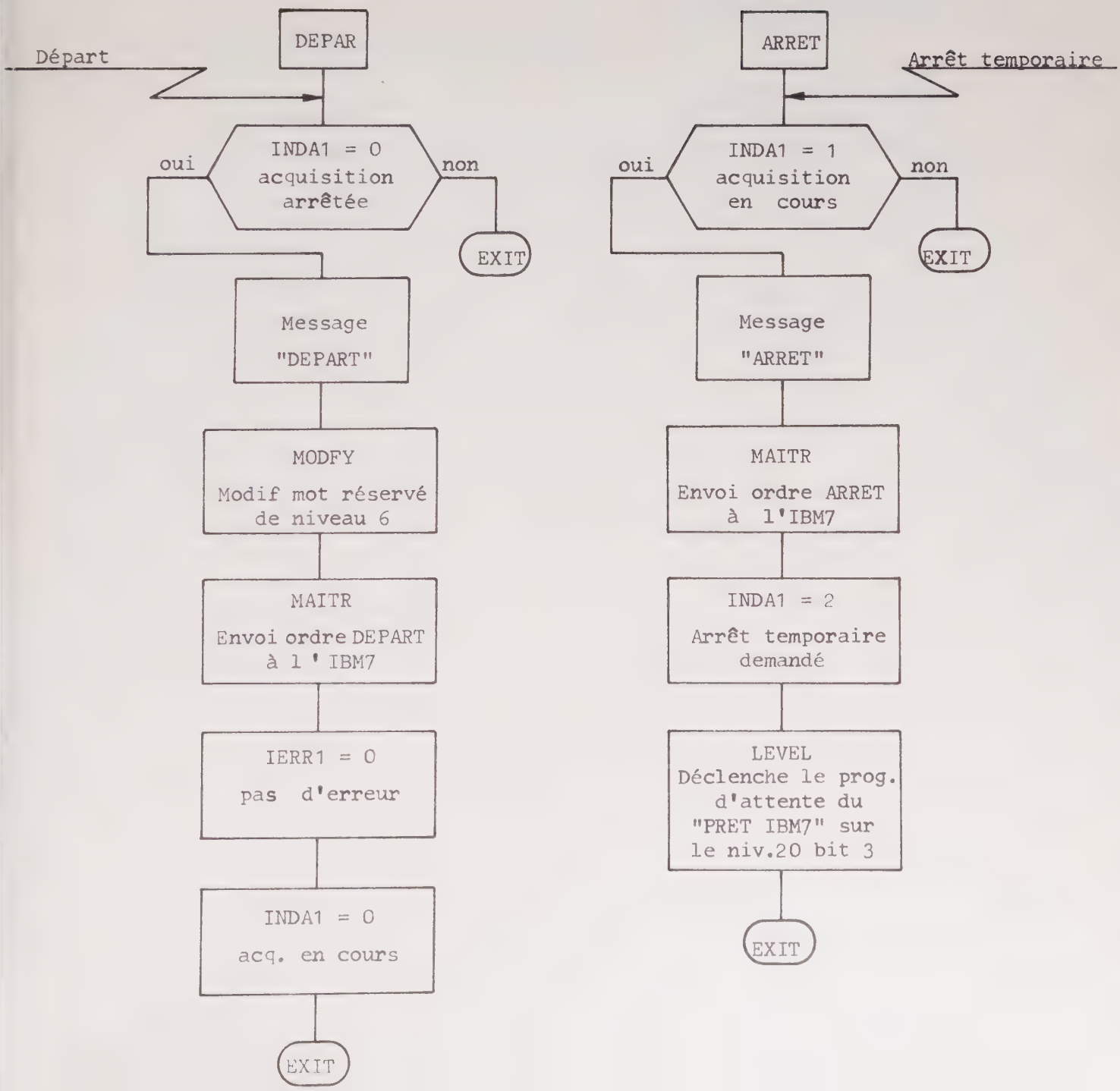
ITAB - 2443	1214	WC bande
	1 1 241	WC canal
	66	Registre
	240 mots utiles	
	*	Adresse de chaînage
	0 0 241	
	66	
ITAB - 1228	1214	WC bande
	1 1 241	
	66	
	Deux grandes tables formées de cinq petites tables chaînées entre elles. Une interruption à la fin de chaque grande table.	

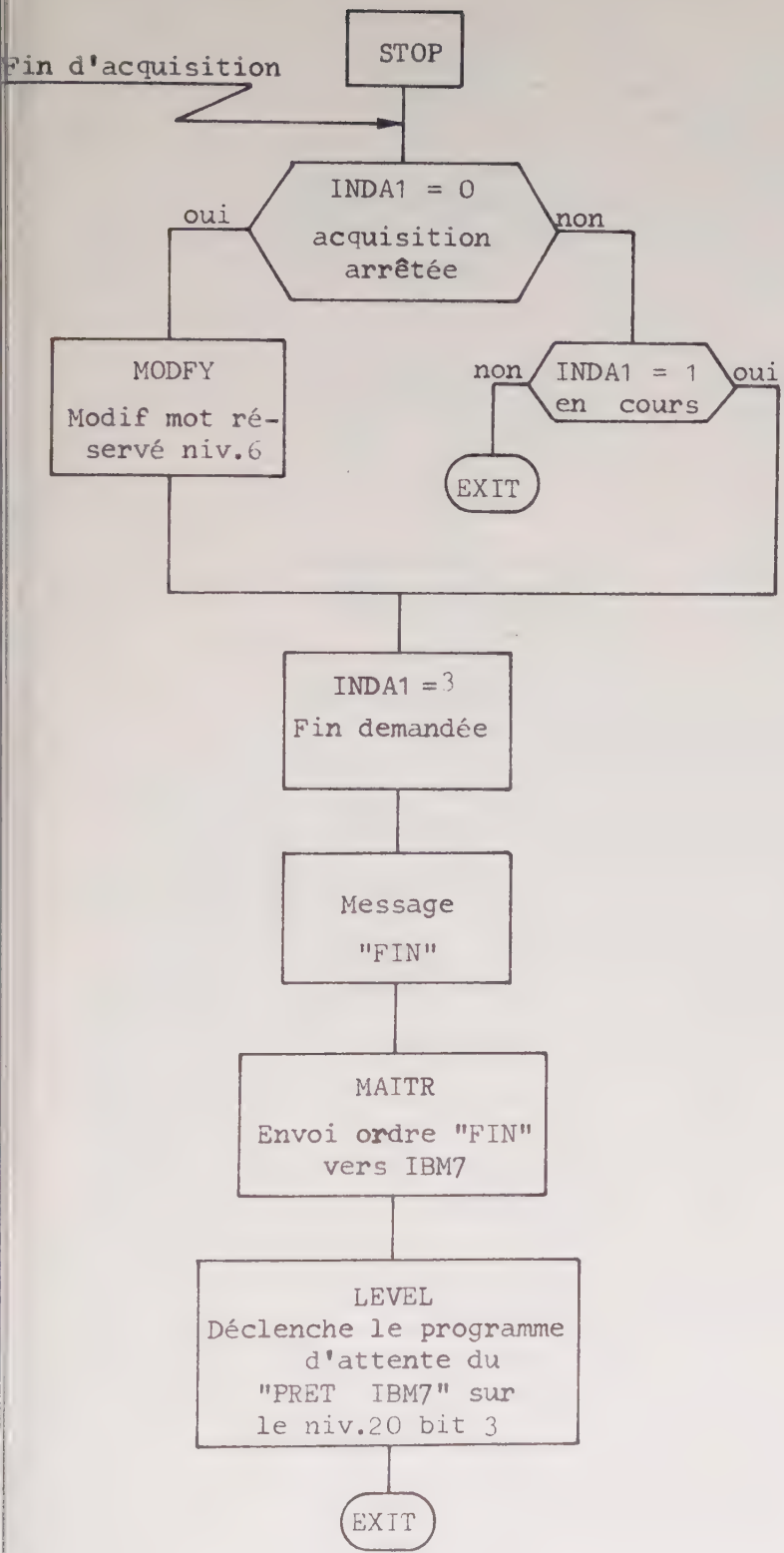
ANNEXE J

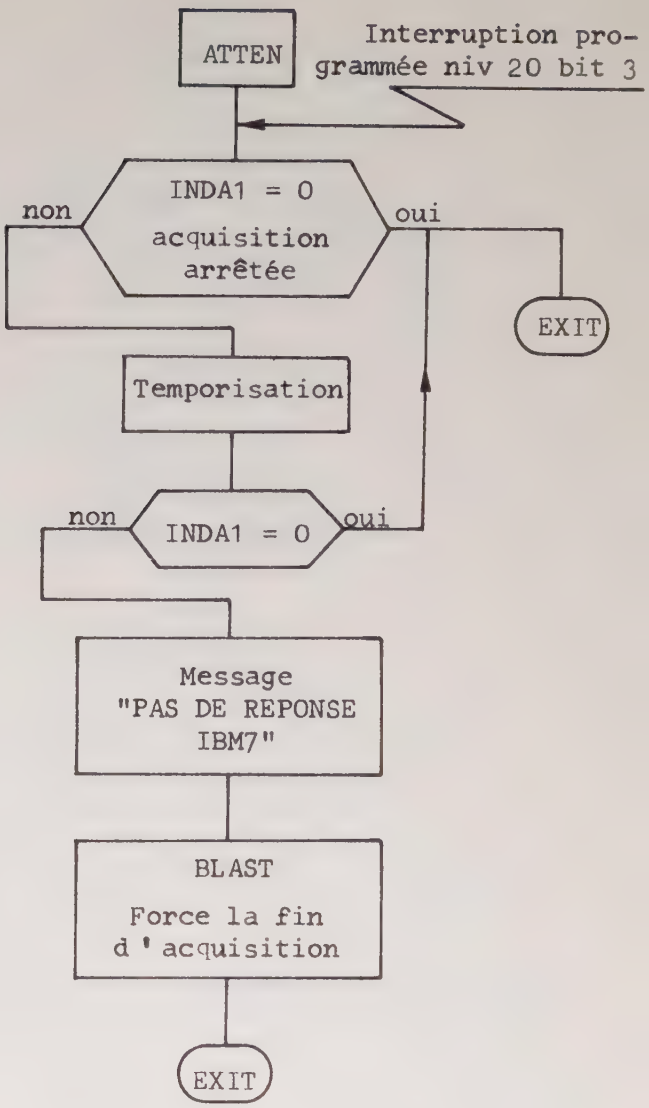
LOGIQUE DES PROGRAMMES D'ACQUISITION

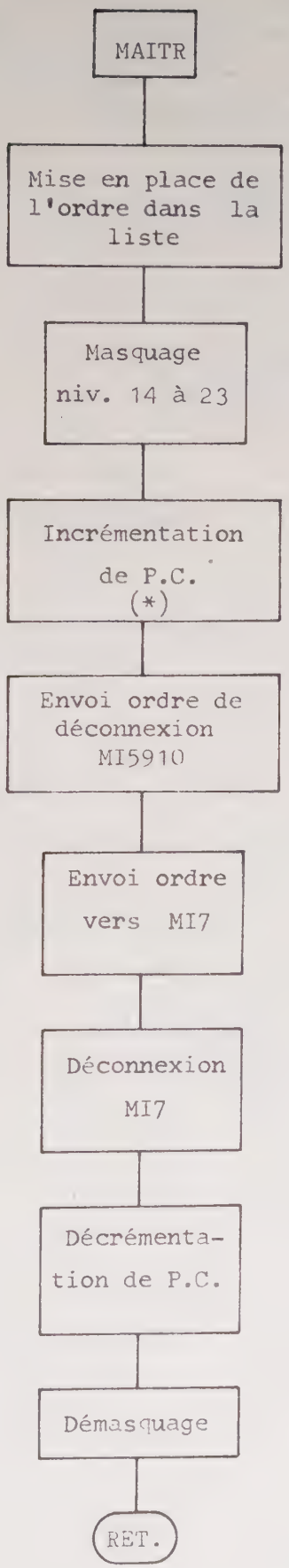
SUR IBM 1800

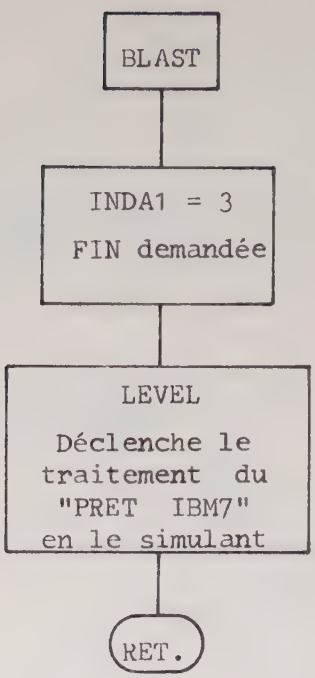
1 - SPAR D'ACQUISITION



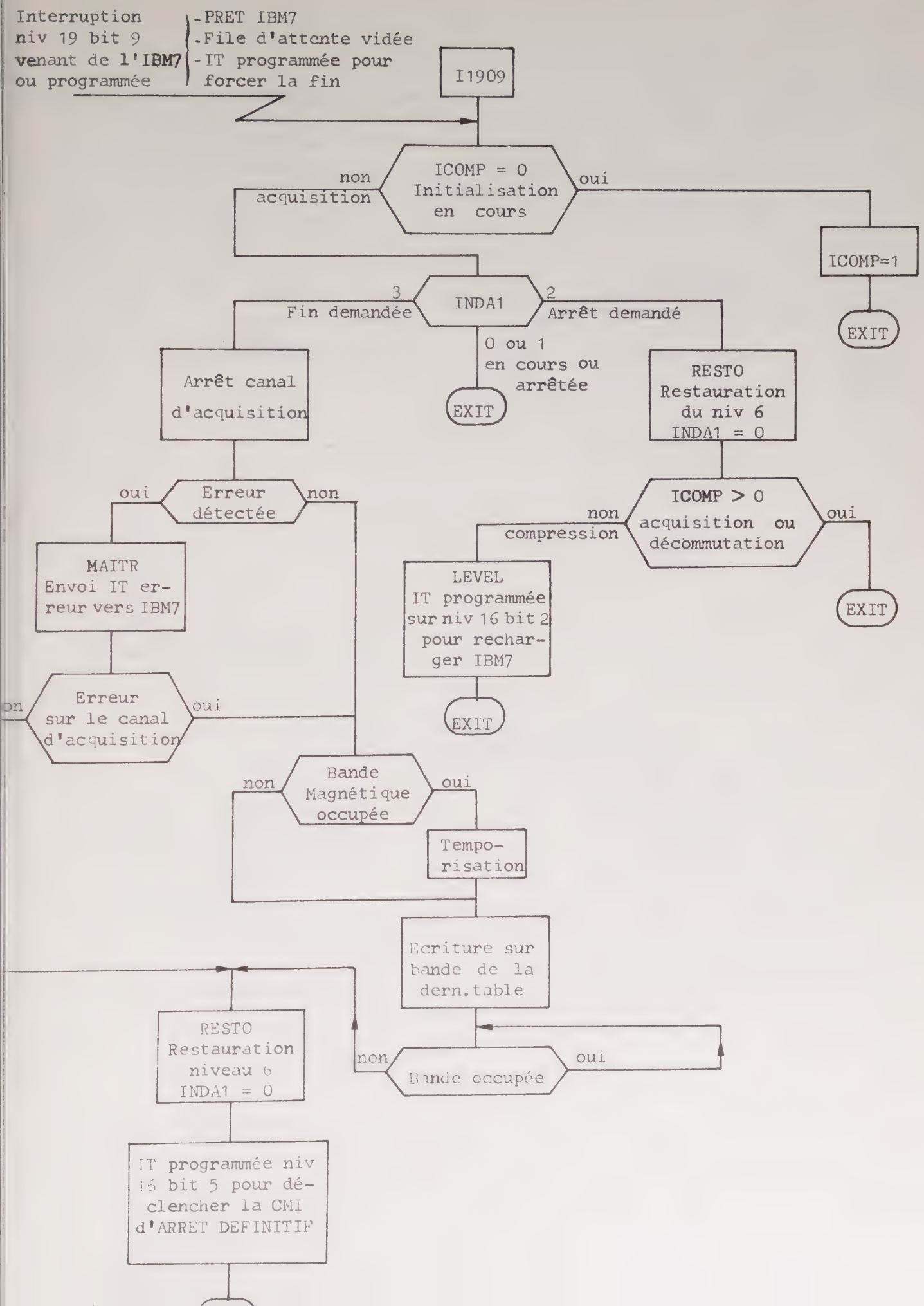

Fin d'acquisition
STOP
INDA1 = 0
acquisition arrêtée
oui
non
MODFY
Modif mot réservé niv.6
non
INDA1 = 1
en cours
oui
EXIT
INDA1 = 3
Fin demandée
Message
"FIN"
MAITR
Envoi ordre "FIN" vers IBM7
LEVEL
Déclenche le programme d'attente du "PRET IBM7" sur le niv.20 bit 3
EXIT

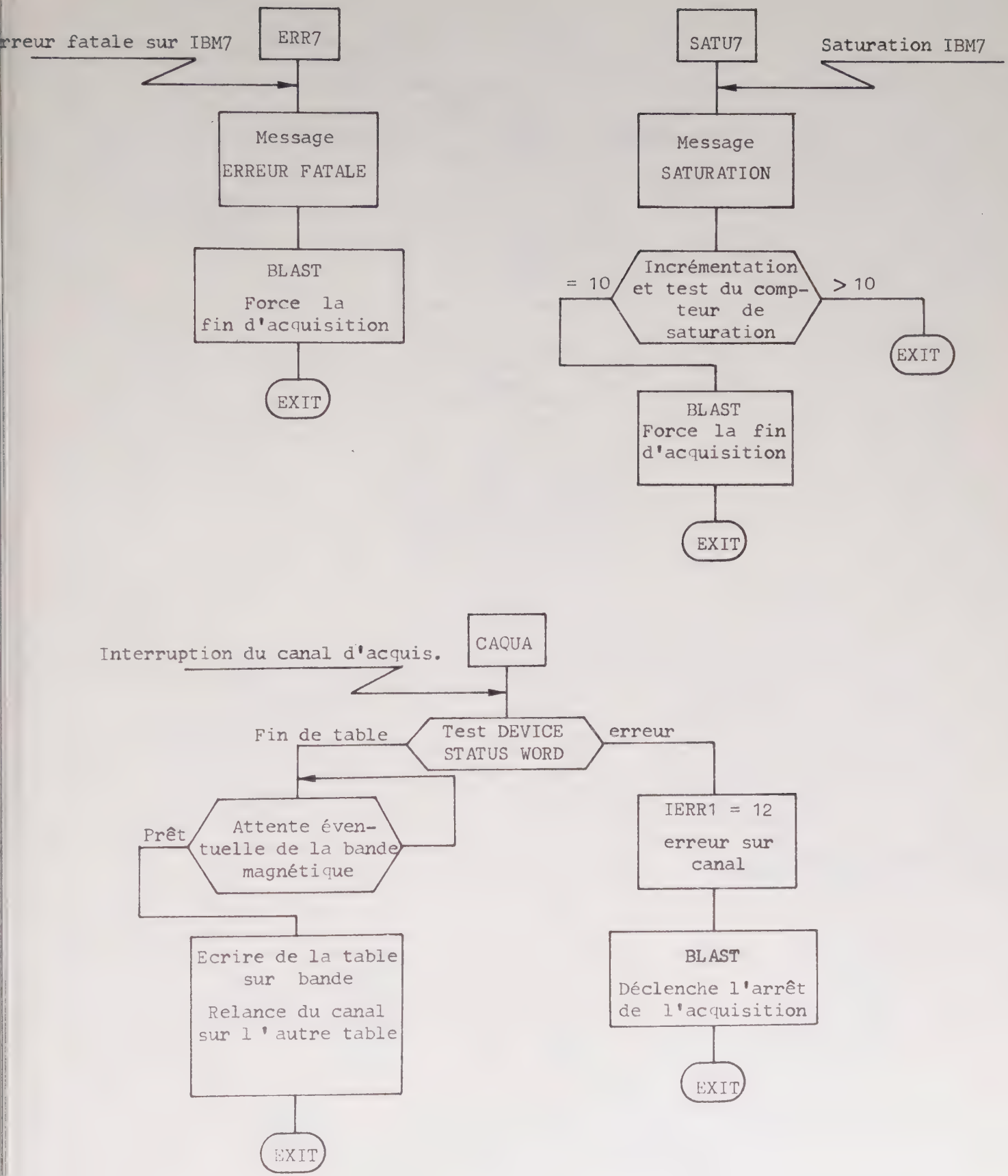

ATTEN
Interruption programmée niv 20 bit 3
INDA1 = 0
acquisition arrêtée
non
oui
EXIT
Temporisation
non
INDA1 = 0
oui
Message
"PAS DE REPONSE IBM7"
BLAST
Force la fin d'acquisition
EXIT

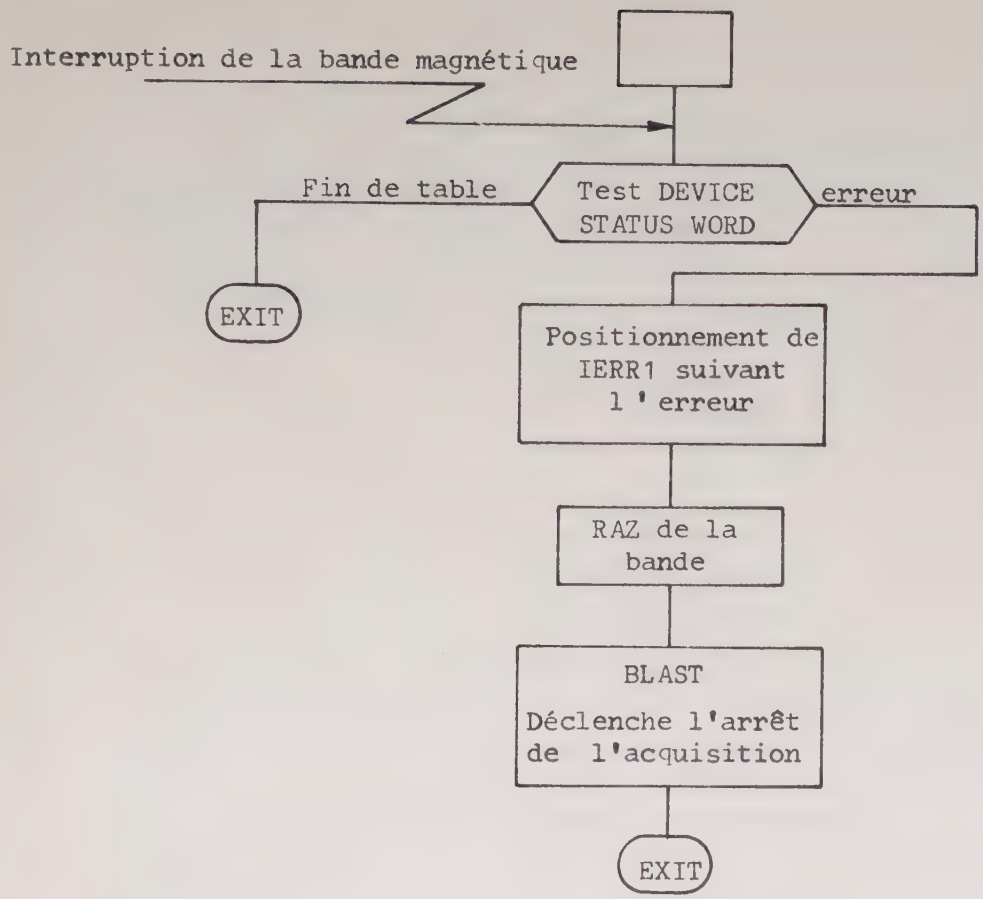


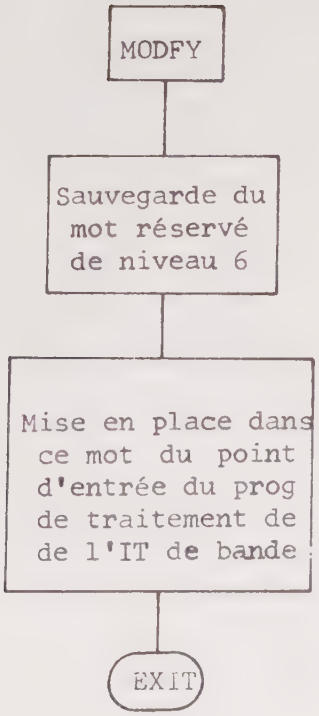


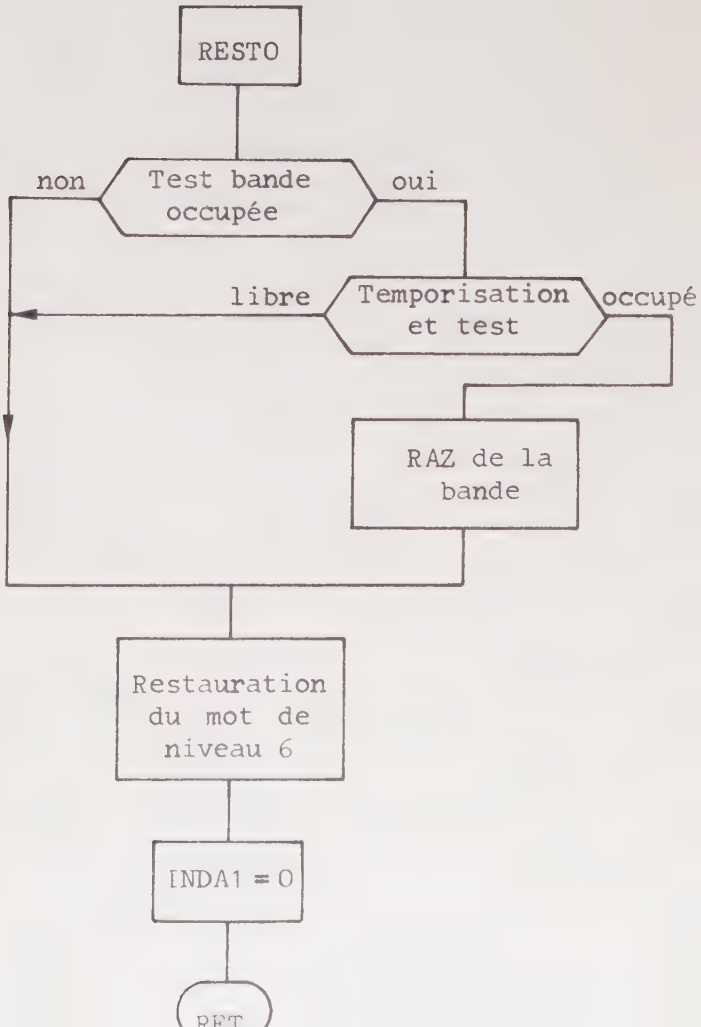
(*) P.C. valide la programmation des modules


Interruption niv 19 bit 9 venant de l'IBM7 ou programmée
-PRET IBM7
-File d'attente vidée
-IT programmée pour forcer la fin
I1909
ICOMP = 0 Initialisation en cours
non acquisition
oui
ICOMP=1
EXIT
INDA1
3 Fin demandée
2 Arrêt demandé
0 ou 1 en cours ou arrêtée
EXIT
Arrêt canal d'acquisition
RESTO Restauration du niv 6 INDA1 = 0
Erreur détectée
oui
non
MAITR Envoi IT erreur vers IBM7
ICOMP > 0 acquisition ou décommutation
non compression
oui
EXIT
LEVEL IT programmée sur niv 16 bit 2 pour recharger IBM7
EXIT
Erreur sur le canal d'acquisition
oui
Bande Magnétique occupée
non
oui
Tempo-risation
Ecriture sur bande de la dern.table
RESTO Restauration niveau 6 INDA1 = 0
non
Bande occupée
oui
IT programmée niv 16 bit 5 pour déclencher la CMI d'ARRET DEFINITIF

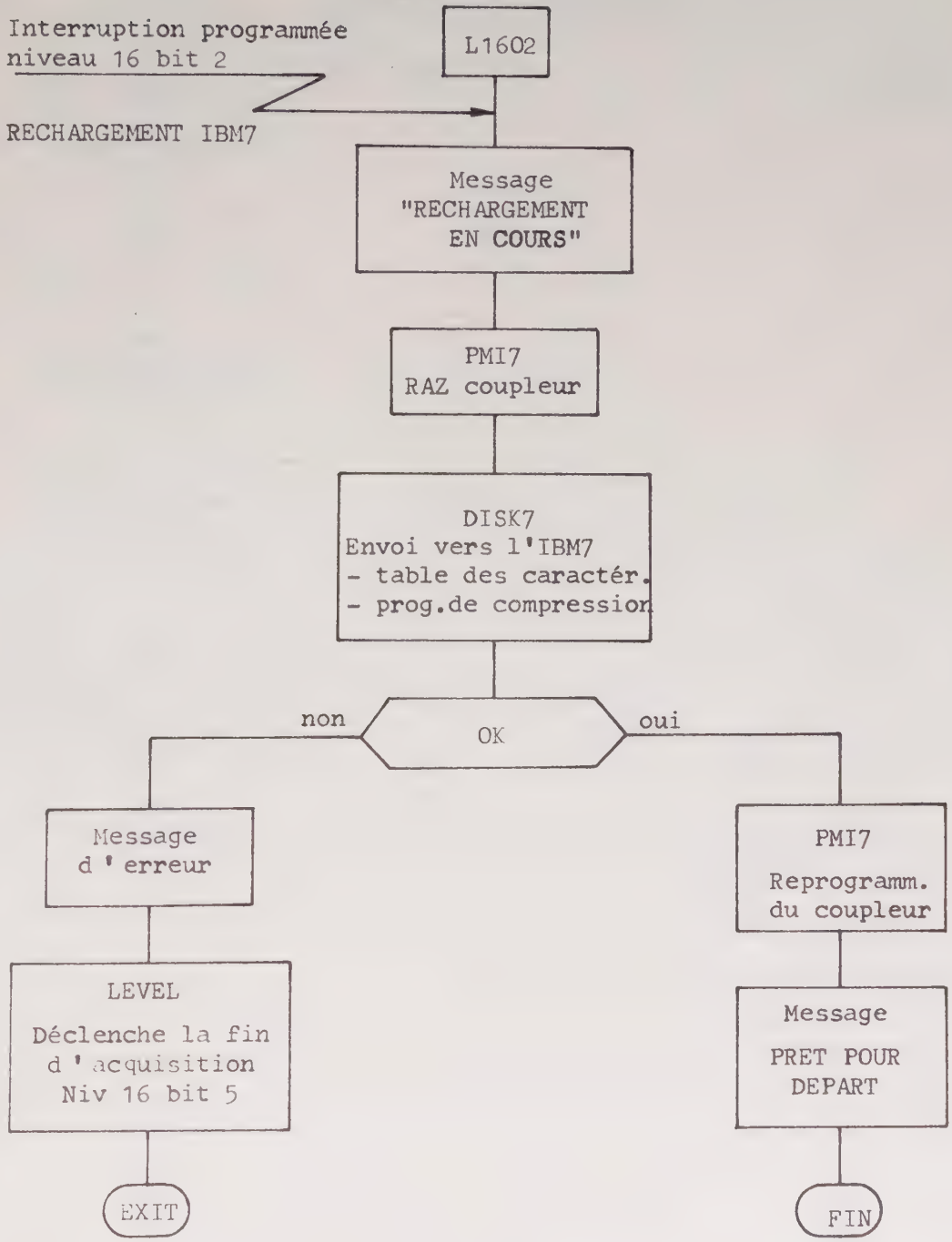

rreur fatale sur IBM7
ERR7
Message
ERREUR FATALE
BLAST
Force la
fin d'acquisition
EXIT
SATU7
Saturation IBM7
Message
SATURATION
= 10
Incrémentation
et test du comp-
teur de
saturation
> 10
EXIT
BLAST
Force la fin
d'acquisition
EXIT
Interruption du canal d'acquis.
CAQUA
Fin de table
Test DEVICE
STATUS WORD
erreur
Prêt
Attente éven-
tuelle de la bande
magnétique
IERR1 = 12
erreur sur
canal
Ecrire de la table
sur bande
Relance du canal
sur l'autre table
BLAST
Déclenche l'arrêt
de l'acquisition
EXIT
EXIT


Interruption de la bande magnétique
Fin de table
Test DEVICE STATUS WORD
erreur
EXIT
Positionnement de IERR1 suivant l'erreur
RAZ de la bande
BLAST
Déclenche l'arrêt de l'acquisition
EXIT

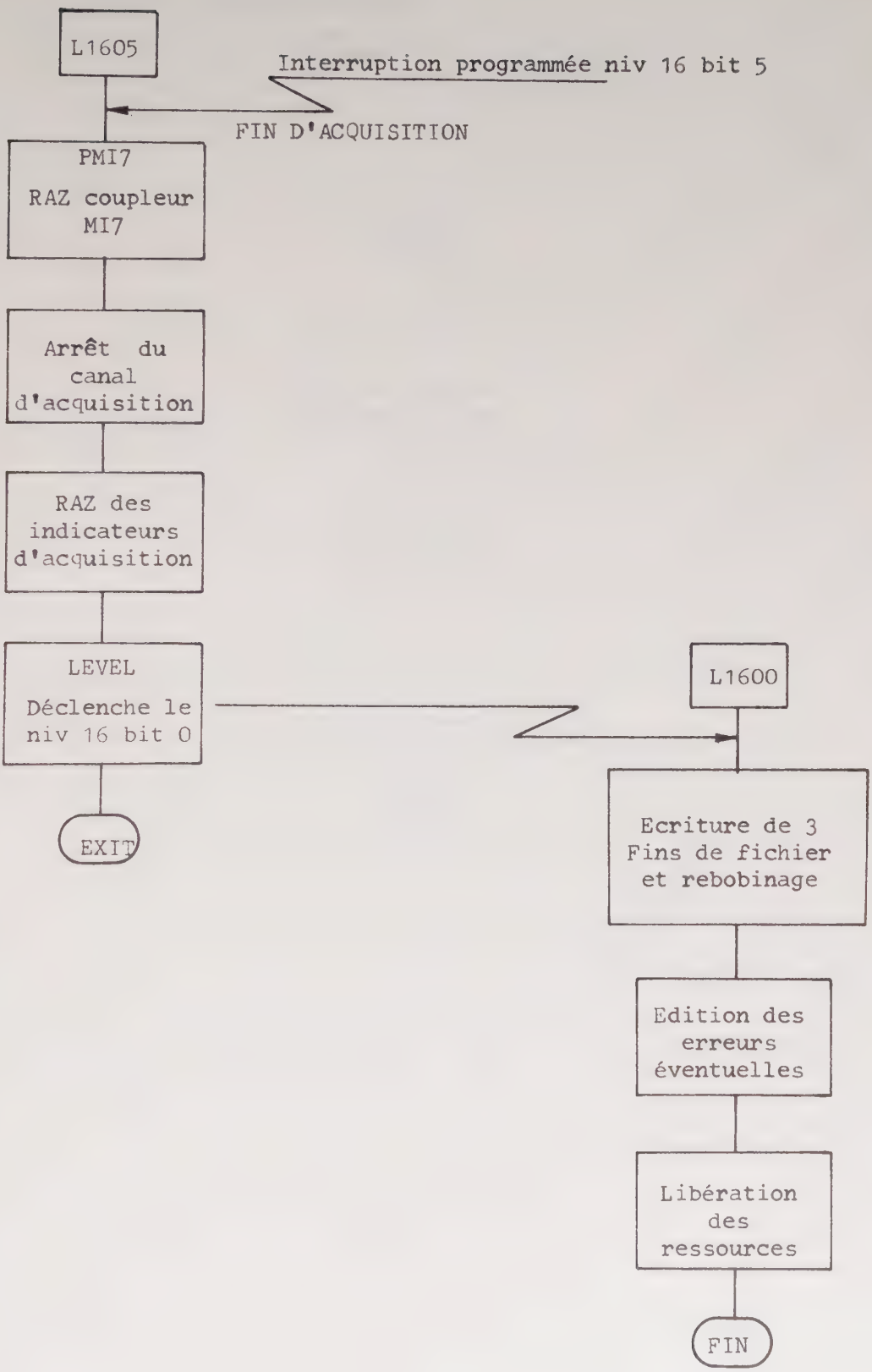

MODFY
Sauvegarde du mot réservé de niveau 6
Mise en place dans ce mot du point d'entrée du prog de traitement de de l'IT de bande
EXIT


RESTO
non
Test bande occupée
oui
libre
Temporisation et test
occupé
RAZ de la bande
Restauration du mot de niveau 6
INDA1 = 0
RET

2 - CHARGES - MEMOIRE D'INTERRUPTION

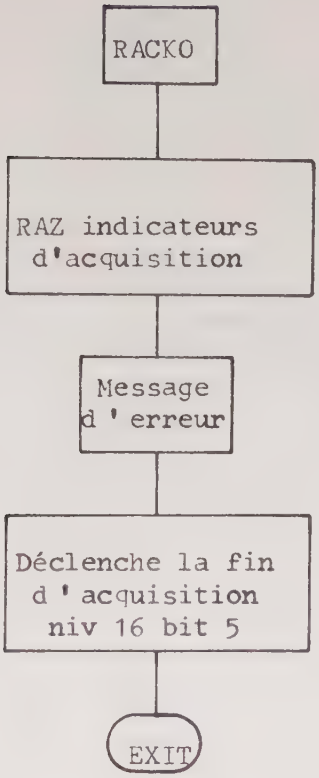


RECHARGEMENT APRES ARRET
TEMPORAIRE
L1602



FIN D'ACQUISITION L1605 / L1600

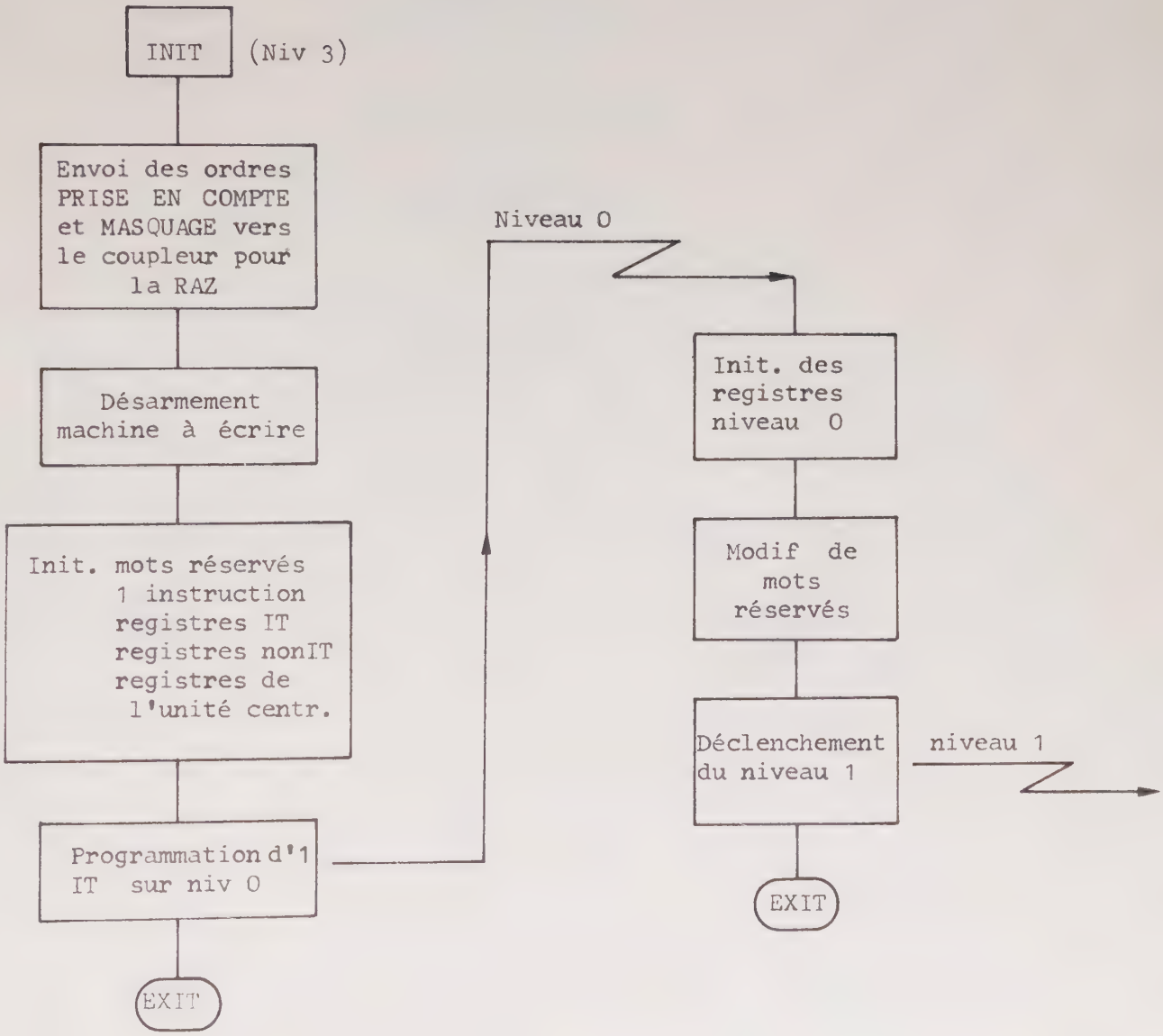
3 - CHARGE - MEMOIRE DE RELOAD

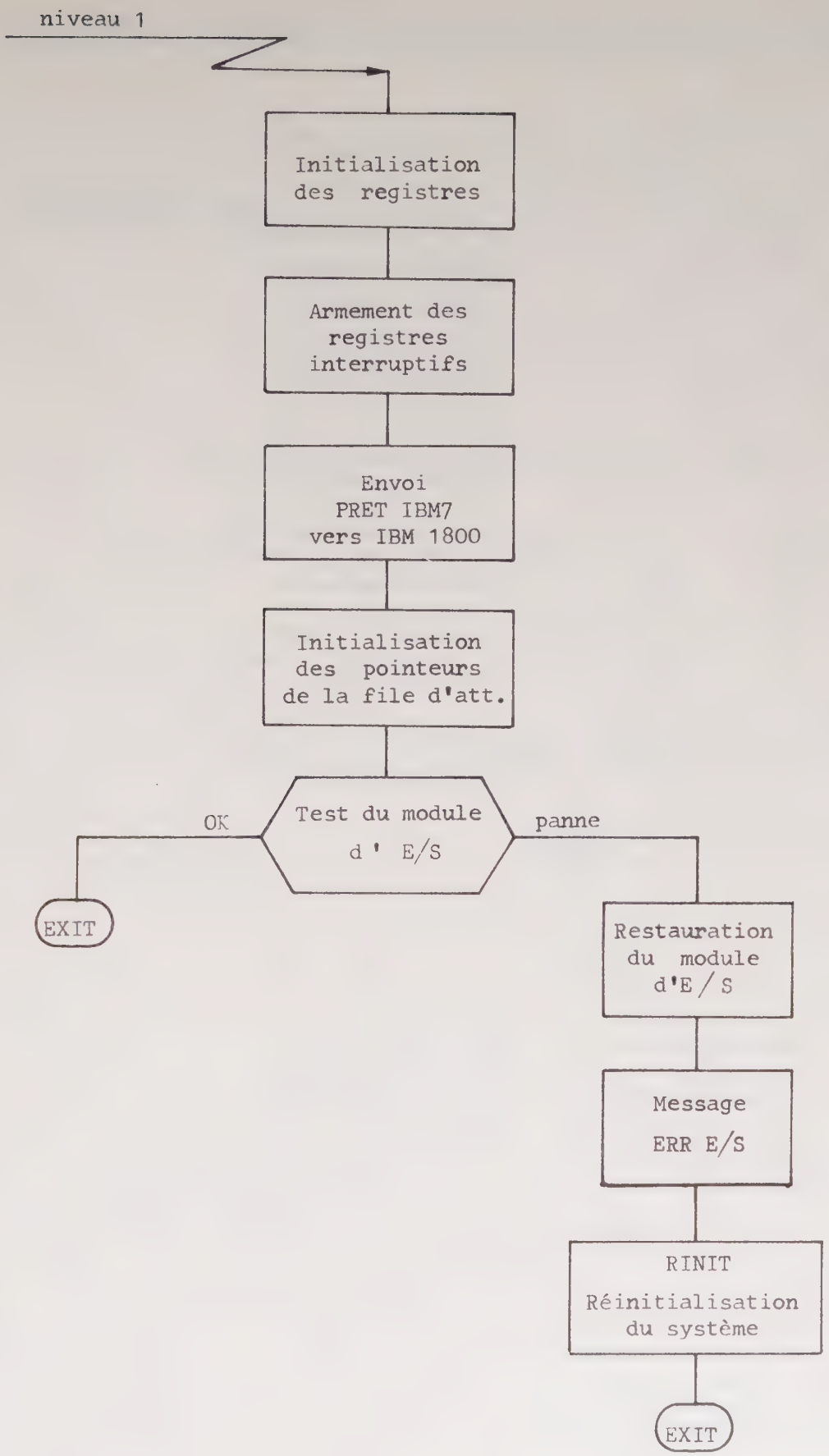


ANNEXE K

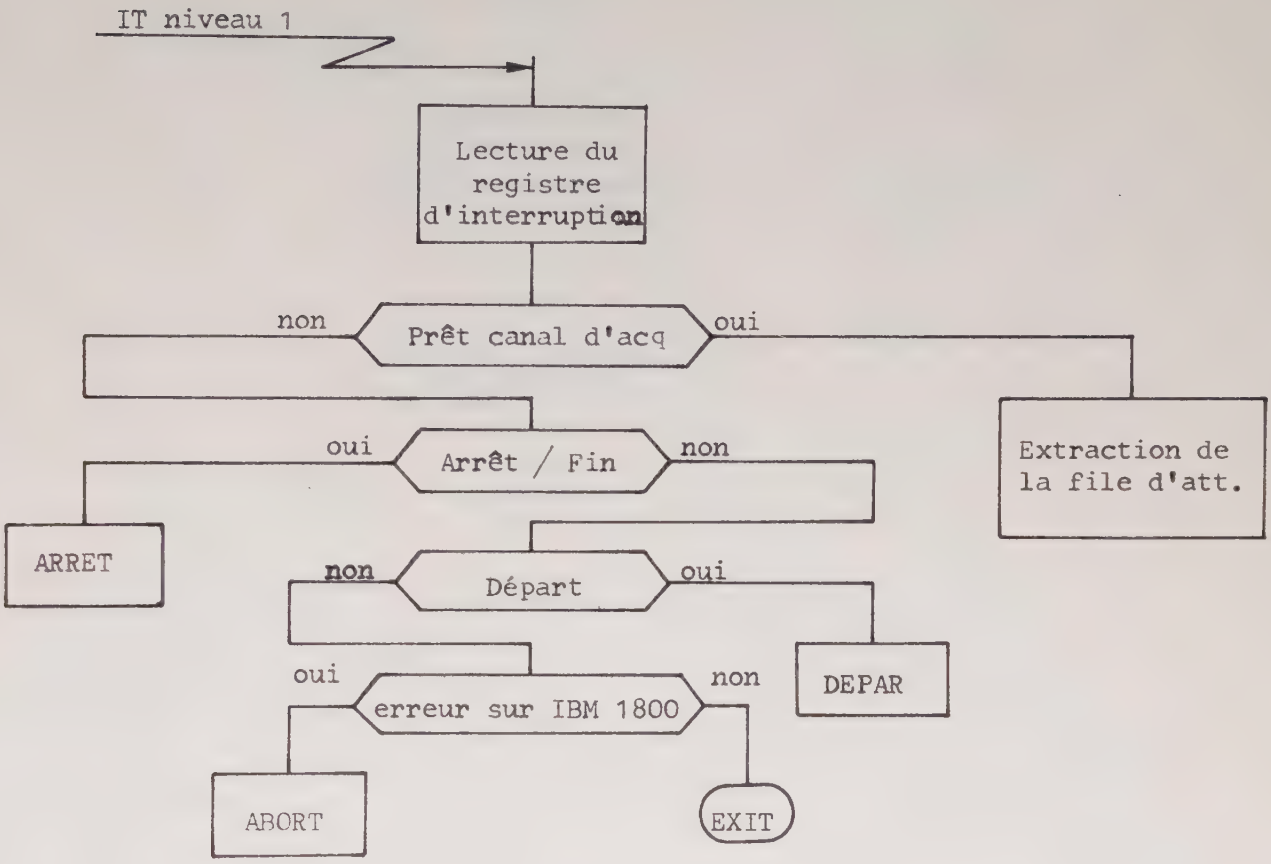
PROGRAMMES D ' ACQUISITION SUR IBM7

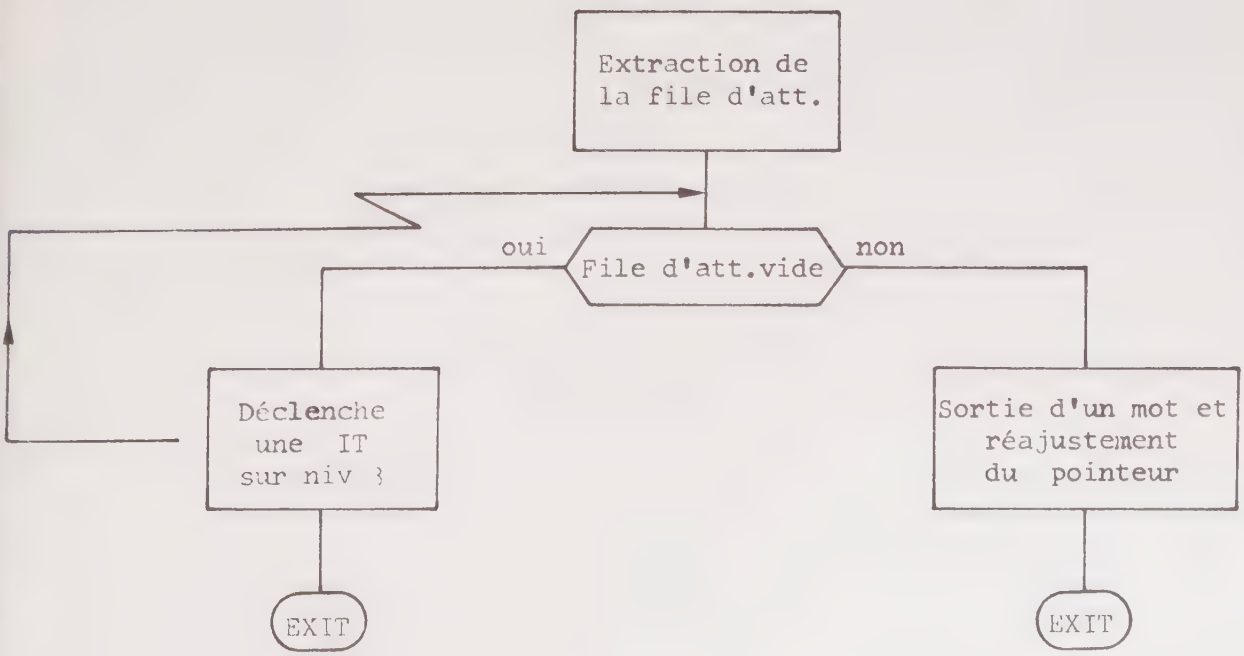
1 - INITIALISATION

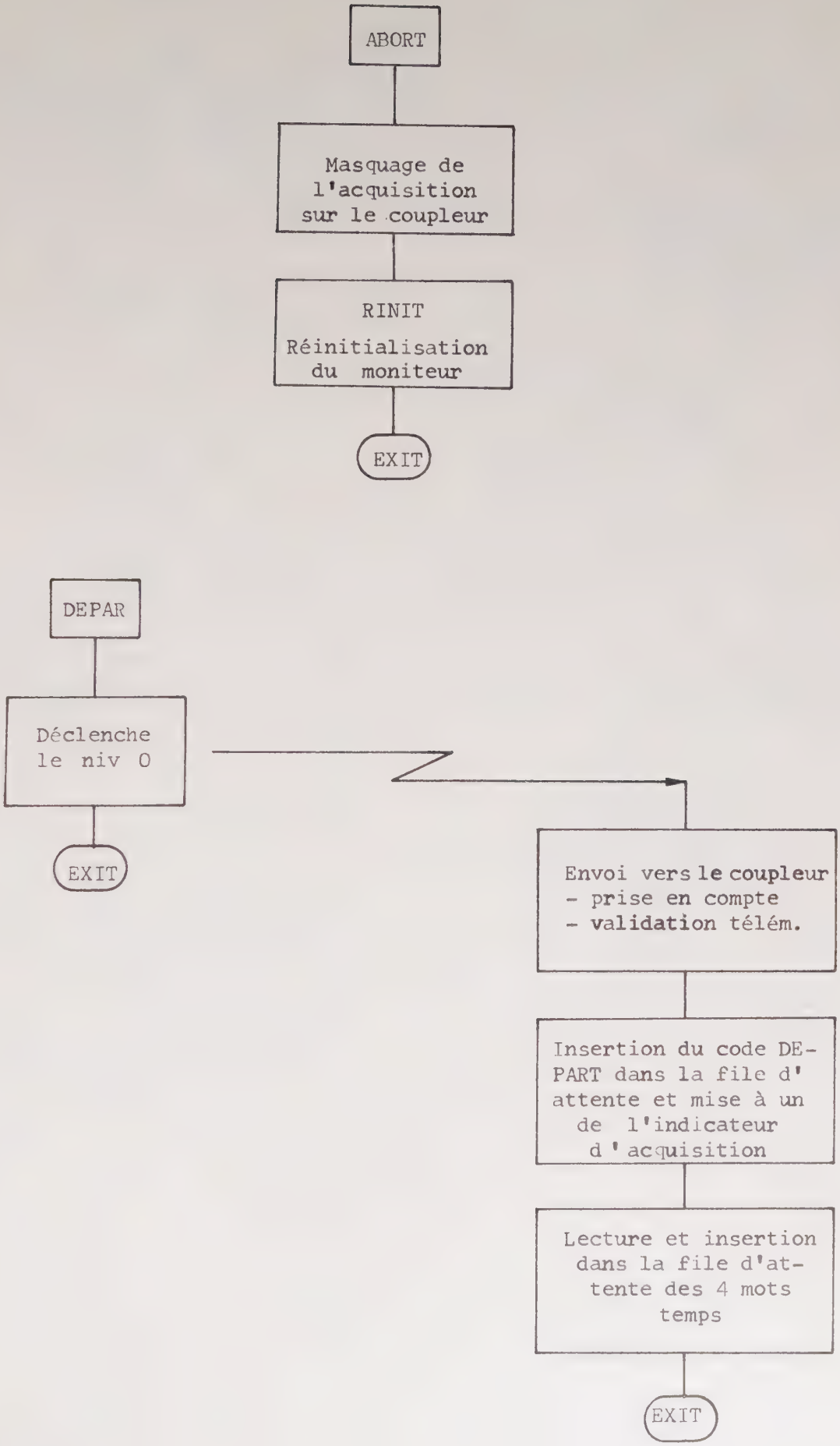


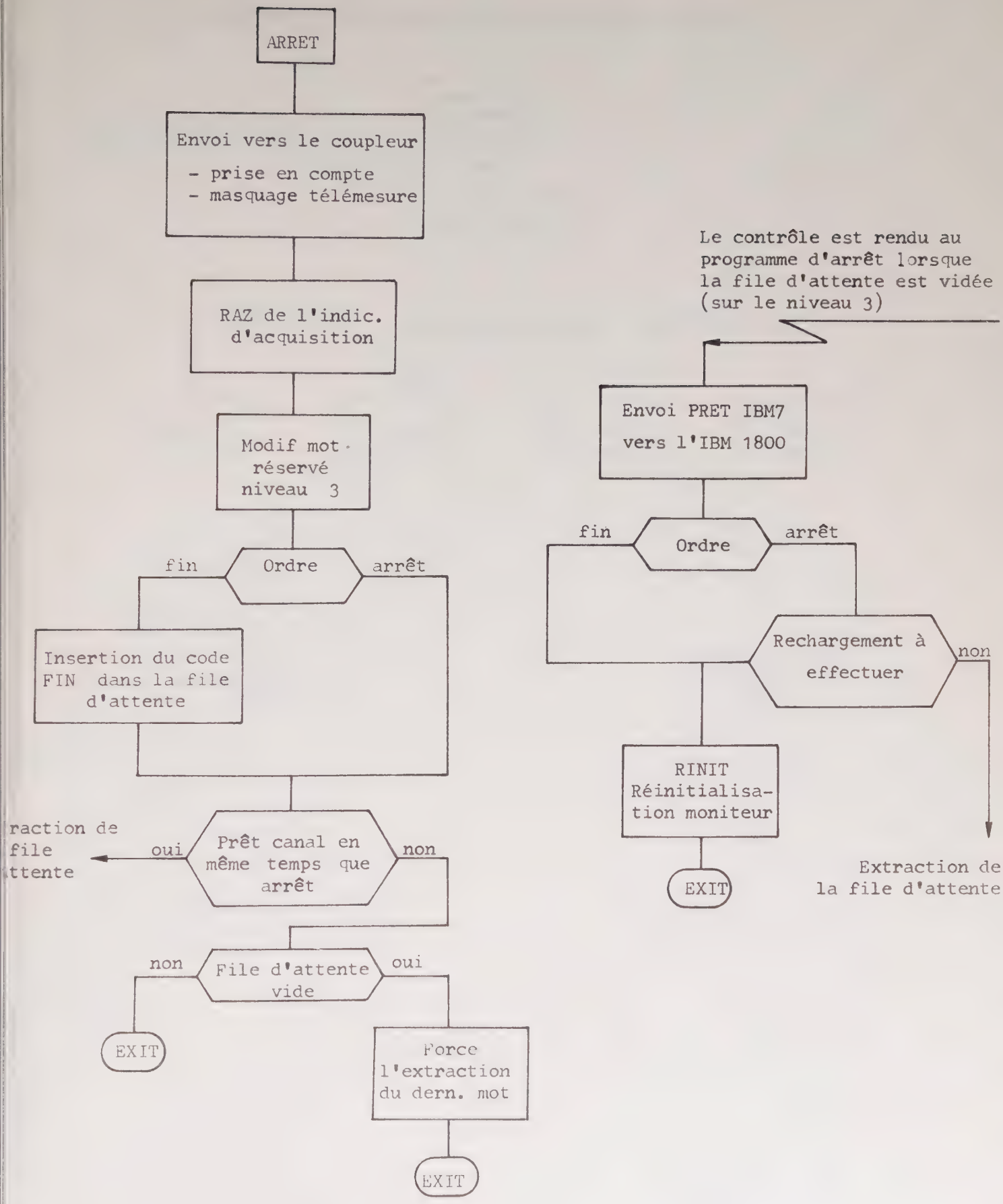

niveau 1
Initialisation des registres
Armement des registres interruptifs
Envoi PRET IBM7 vers IBM 1800
Initialisation des pointeurs de la file d'att.
Test du module d ' E/S
OK
panne
EXIT
Restauration du module d'E / S
Message ERR E/S
RINIT
Réinitialisation du système
EXIT

2 - TRAITEMENT DES INTERRUPTIONS DE DIALOGUE AVEC L'IBM 1800 (niveau 1)

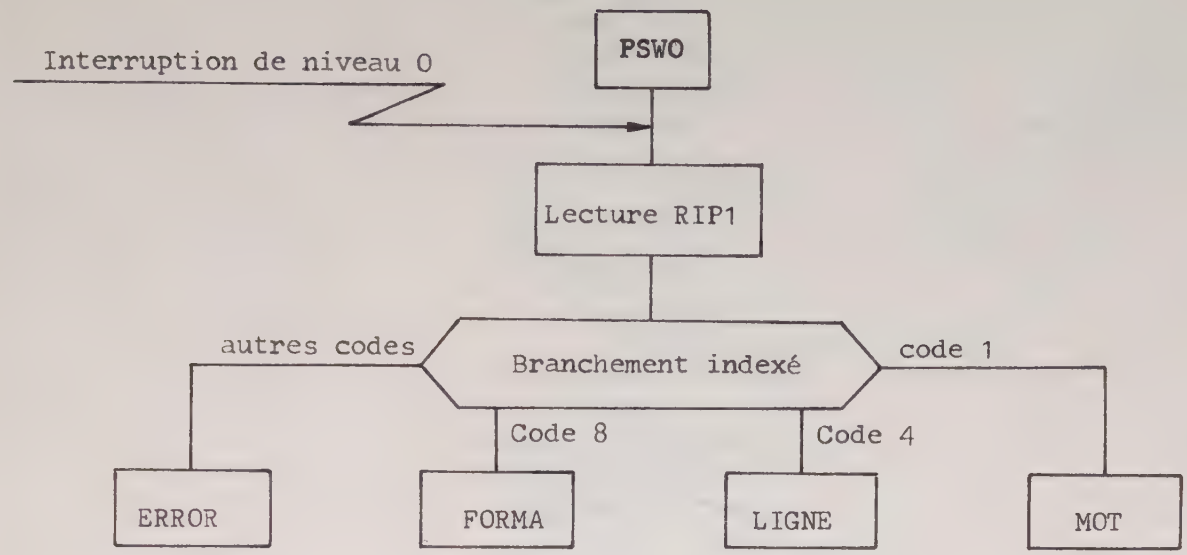


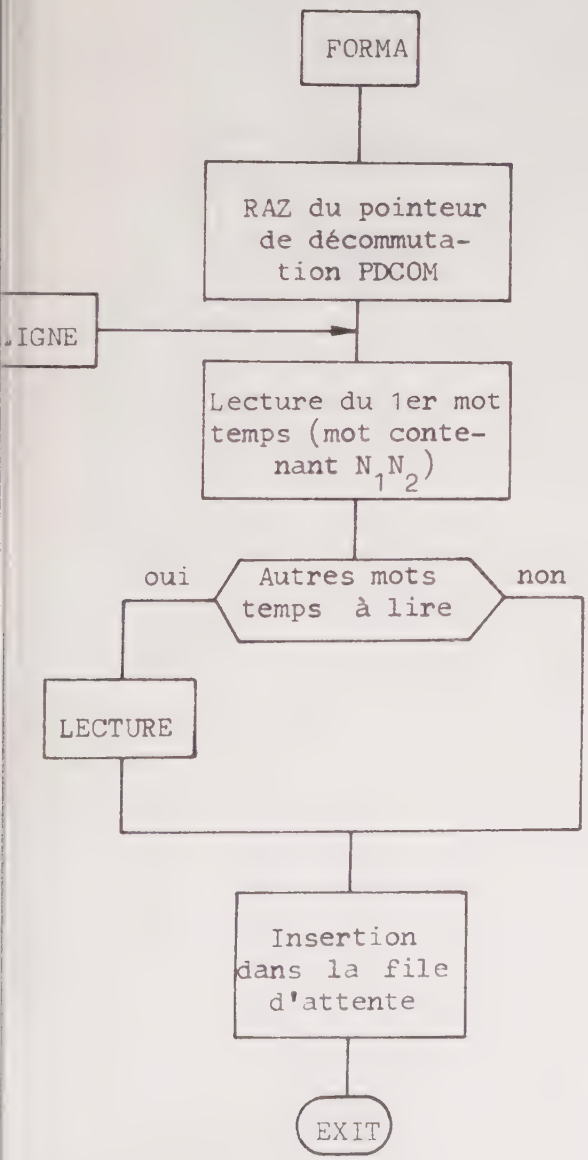


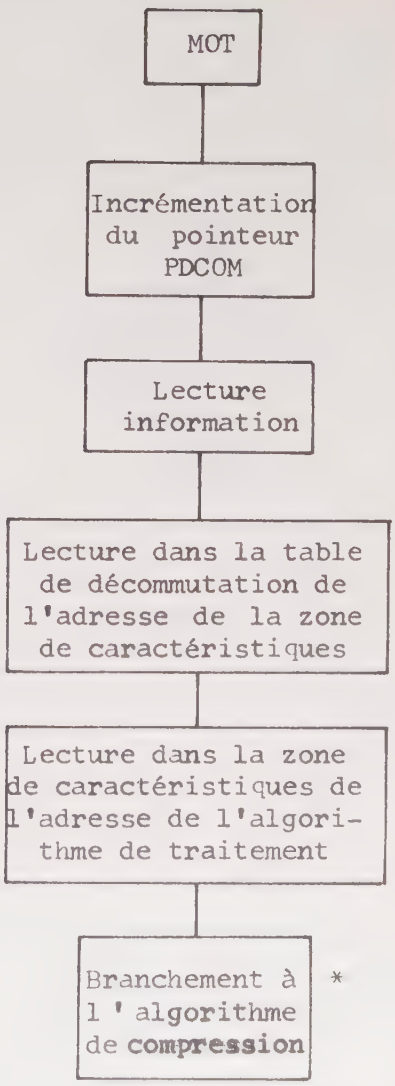

ABORT
Masquage de l'acquisition sur le coupleur
RINIT
Réinitialisation du moniteur
EXIT
DEPAR
Déclenche le niv 0
EXIT
Envoi vers le coupleur
- prise en compte
- validation télém.
Insertion du code DEPART dans la file d'attente et mise à un de l'indicateur d'acquisition
Lecture et insertion dans la file d'attente des 4 mots temps
EXIT


ARRET
Envoi vers le coupleur
- prise en compte
- masquage télémesure
RAZ de l'indic. d'acquisition
Modif mot réservé niveau 3
fin
Ordre
arrêt
Insertion du code FIN dans la file d'attente
raction de file ttente
oui
Prêt canal en même temps que arrêt
non
non
File d'attente vide
oui
EXIT
Force l'extraction du dern. mot
EXIT
Le contrôle est rendu au programme d'arrêt lorsque la file d'attente est vidée (sur le niveau 3)
Envoi PRET IBM7 vers l'IBM 1800
fin
Ordre
arrêt
Rechargement à effectuer
non
RINIT Réinitialisation moniteur
EXIT
Extraction de la file d'attente

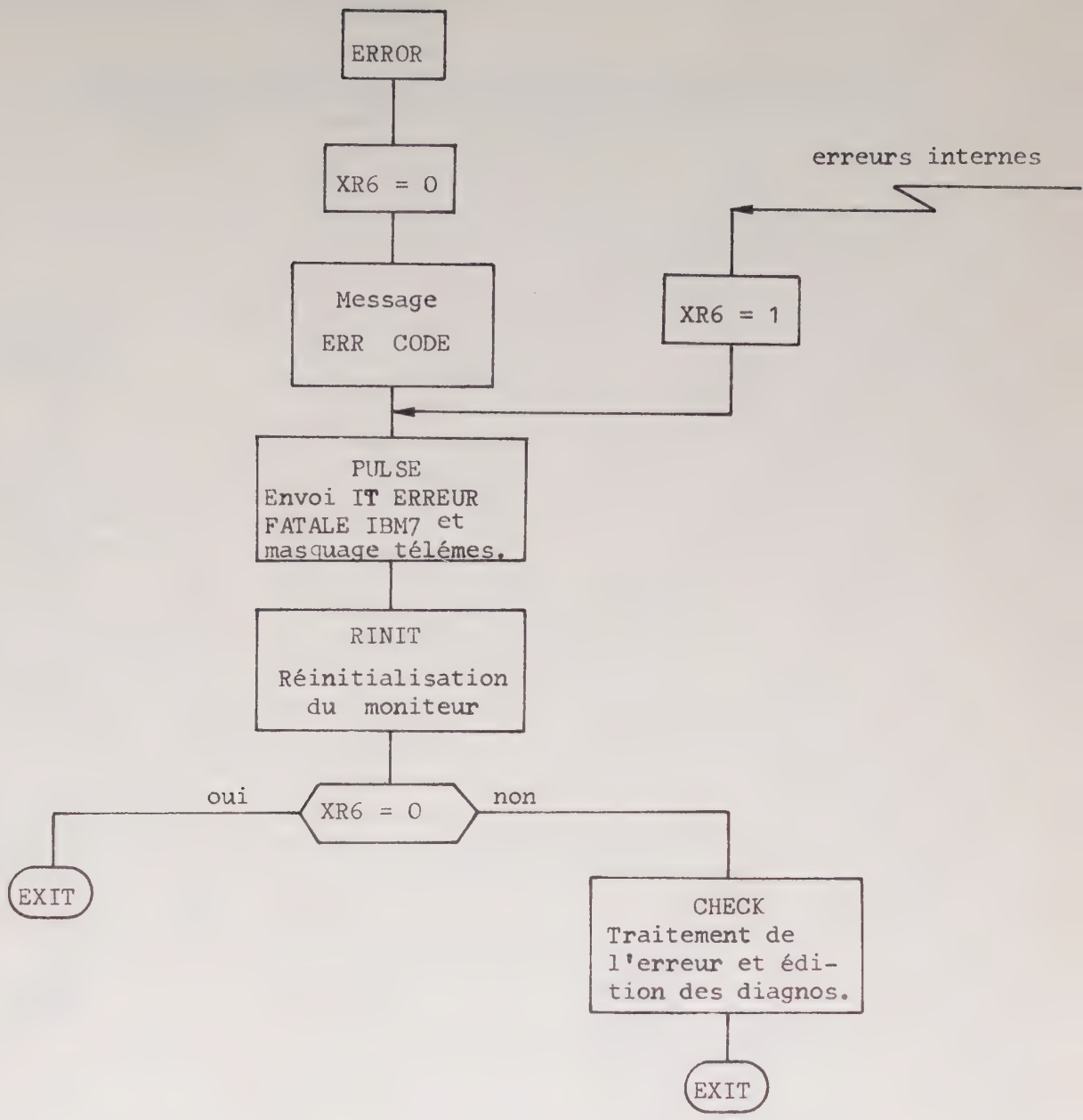
3 - TRAITEMENT DES INTERRUPTIONS D'ACQUISITION (niveau 0)





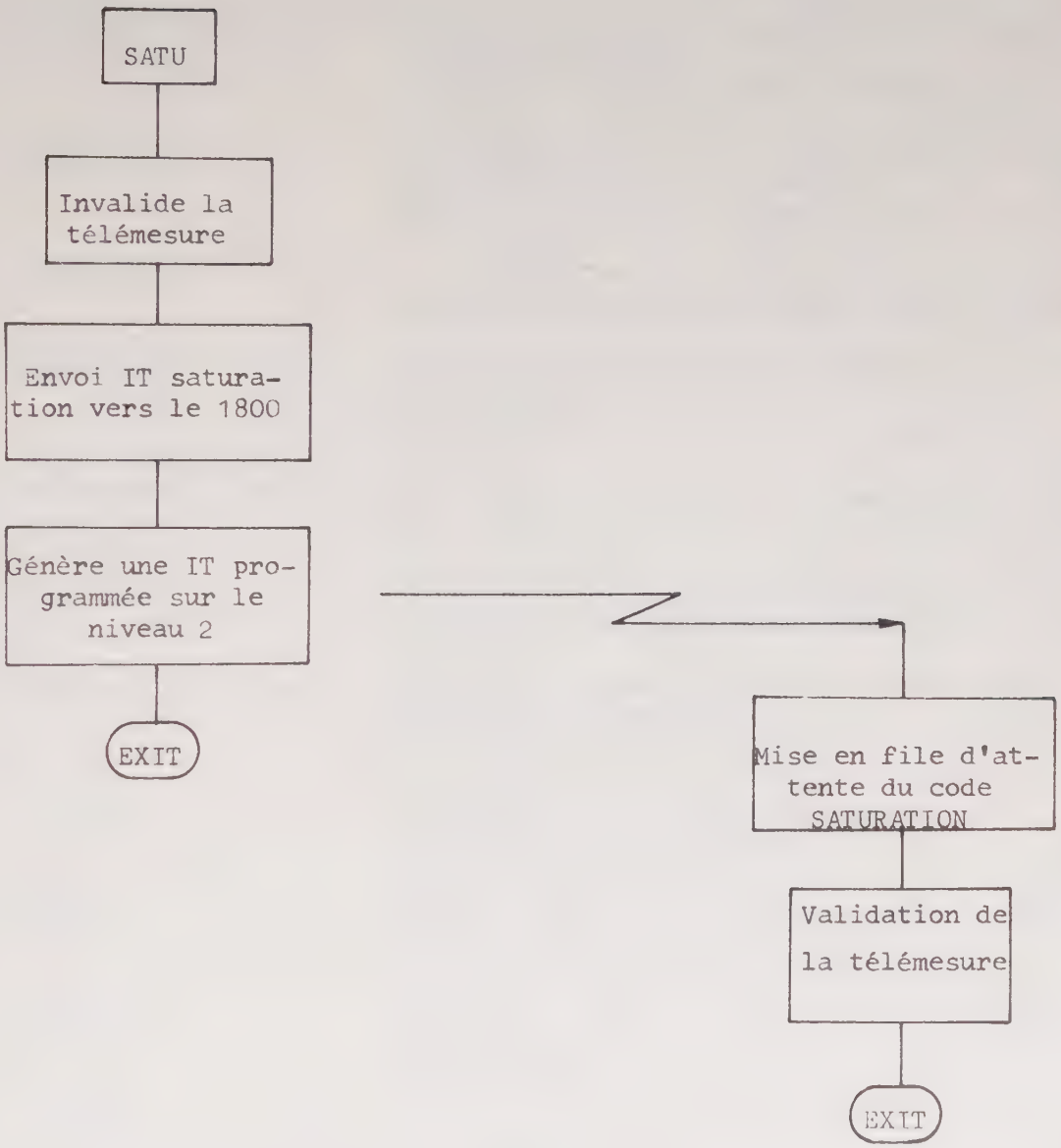


* Les organigrammes des algorithmes sont placés dans le texte (§ 4.767)


ERROR
XR6 = 0
Message
ERR CODE
erreurs internes
XR6 = 1
PULSE
Envoi IT ERREUR
FATALE IBM7 et
masquage télémes.
RINIT
Réinitialisation
du moniteur
oui
XR6 = 0
non
EXIT
CHECK
Traitement de
l'erreur et édi-
tion des diagnos.
EXIT

4 - SATURATION DE LA FILE D'ATTENTE

Le contrôle est donné par le sousprogramme de rangement dans la file d'attente.



B I B L I O G R A P H I E

On trouve une bibliographie très complète dans :

L.C. WILKINS et P.A. WINTZ — Bibliography on data compression, picture properties and picture coding
IEEE Trans. IT vol. IT-17 n° 2 mars 71 p. 180-197

(1) L.D. DAVISSON — The prediction error of stationnary Gaussian time series of unknown covariance.
IEEE Trans. IT vol. IT-11 n° 4 oct. 65 p. 527-532

(2) L.D. DAVISSON — The adaptative prediction of time series.
Proc. Nat'l Electronics Conf. 1966 p.557-561

(3) L.D. DAVISSON — An approximate theorie of prediction for data compression.
IEEE Trans. IT vol. IT-13 n° 2 avril 67 p. 274-278

(4) L.D. DAVISSON — The theoritical Analysis of data compression systems
Proc. IEEE Vol. 56 n° 2 fév. 68 p. 176-186

(5) L.D. DAVISSON — Data compression using straight line interpolation
IEEE Trans. IT Vol. IT-14 n° 3 mai 68 p. 390-394

(6) L. EHRMAN — Analysis of some redundancy removal bandwith compression techniques.
Proc. IEEE Vol. 55 n° 3 mars 67 p. 278-287

(7) D.R. WEBER — A synopsis on data compression
Proc. NTC 1965 p. 9 à 16

(8) J.E. MEDLIN — Sampled data prediction for telemetry bandwith compression
IEEE Trans. Vol 11 mars 65 p. 29 à 36

(9) J.W. STUMPE — Redundancy reduction techniques and application
Proc. NTC-1967 p. 50 à 56

(10) C.M. KORTMAN — Redundancy reduction - A practical method of data compression.
Proc. IEEE vol. 55 n° 3 mars 67 p. 253 à 263

(11) J. LEVY et E.H. GAVENMAN — Summary of performance of compression algorithms in Interim scientific report for the development of advanced digital techniques.
NASA mai 1968

(12) C.S.F. Réduction de la redondance dans les liaisons spatiales
Rapport final. C.S.F.-D.E.S. 5086 juillet 1968.

(13) Y.C. KHODAREV, V.P. EVDOKIMOV, V.M. POKRAS Technique for possibilities evaluation of some deep space probes data compression systems.
Institute for Space Research - Academy of Sciences of U.S.S.R. Moscow 1970.

(14) D.R. JACKSON Magnetoelastic Bandwith compression
Proc. IEEE Vol. 59 n° 1 Janv. 71 p. 20 à 25

(15) BRAIDY, LAURENT et PICOT Système de télévision pour transmission PCM
Onde Electrique n° 49 Fasc. 8 n° 510 Sept. 69

(16) C.J. KIKKERT Digital technics in delta Modulation
IEEE Trans CT août 71 p. 570-573

(17) J.A. SCIULLI A logarithmic encoder for binary word compression
Goddart Space Flight Center août 67

(18) S.S. RUTH, P.J. KREUTZER Data compression for large business file
Datamation sept. 72 p. 62-66

(19) J. DI GIUSEPPE A survey of picturial data compression techniques
Mars 69 Clearinghouse A D 689-859

(20) D. ESTOURNET Compression d'information de signaux d'images par les systèmes différentiels codés.
Onde Electrique Vol. 49 fasc. 8 sept. 69 p. 858-868

(21) I. EISENBERGER, E.C. POSNER Systematic statistics used for data compression in space telemetry
American Statistical Association Journal mars 65, p. 97-133.

(22) C.A. ANDREWS, J.M. DAVIS, G.R. SCHWARTZ Adaptative data compression
Proc. IEEE Vol. 55 n° 3 mars 67 p. 267 à 277

(23) E.E. WALLINGFORD, I. ALLISLEV, J.D. WILSON, W.G. HENRY Simple data compression by redundancy replacement.
IEEE Trans. IT Vol IT 17 n° 4 juill. 71 p. 500-503

(24) N.S. TZANNES, A.J. SARANTAKIS Entropy and data compression
IEEE Trans. IT Vol. IT 16 Janv. 70 p. 74-75

(25) D.R. COX et H.D. MILLER The theory of stochastic
Processes - Methuen - London 1965 Ch. 3

(26) D.R. COX et H.D. MILLER The theory of stochastic
Processes - Methuen - London 1965 Ch. 2

(27) CAROUBALOS, STEINBERG, GOYOU et TOUATI La compression de données radioastronomiques transmises par satellites et la reconstruction du signal.
Observatoire de Meudon, rapp. n° 60 déc. 68

(28) D. AZAM Exploitation optimisée d'un ordinateur d'acquisition de télémesures spatiales.
Thèse Faculté d'Orsay Oct. 71

(29) P. COUDREAU Acquisitions simultanées des télémesures sur CARINA, sous système IBM 1800 multiprogrammé.
Rapport de tâche de la Société ANSWARE - juil. 72

(30) I.R.I.G. (Inter-Range-Instrumentation Group)
Telemetry standards revised March 66 publié par "Secretariat of Range Commanders council"
New Mexico 88002.

(31) J.P. KOUTCHOUK Le système IBM 7 - Fonctionnement - Mise en oeuvre - Utilisation - Logique
CNES 73/134/MT/TT fév. 73